



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e
Ingeniería Química

PROYECTO FIN DE CARRERA

Instrumentación básica de una EDARU

Autor: Aitor Amaro Rubio

Tutor: Antonio Aznar Jiménez

Leganés, Octubre 2015

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a mi tutor el profesor D. Antonio Aznar Jiménez la inestimable ayuda que me ha proporcionado para realizar y terminar este proyecto fin de carrera.

En estos últimos años ha habido multitud de cambios en mi vida los cuales han retrasado la finalización de mis estudios. Son oportunidades que han surgido y de las que no me arrepiento haber optado. Seguramente podría haber terminado antes, pero nadie más que yo necesitaba que por fin llegara este momento. Mi etapa en la universidad me ha formado como persona, he aprendido mucho y siempre la recordare positivamente. Me llevo grandes compañeros y amigos, como Jose, Javi, Álvaro y Alex; sin vuestra ayuda no habría llegado hasta aquí.

Todo esto no hubiera sido posible sin el apoyo de mi familia. Mi madre Mar, mi padre Eduardo y mi hermana Vane; gracias por vuestro apoyo y por este último empujón. Os estaré eternamente agradecido.

Este último párrafo es para la persona que ha estado más cerca de mi estos últimos años, Tania, ayudándome, apoyándome e incluso regañándome, ha conseguido que llegara este momento. No hay palabras para describir lo que siento hacia ti. Compartimos nuestra vida juntos y desde hace ya más de cinco meses la comparte también nuestro pequeño Izan; a partir de ahora tendré todo el tiempo del mundo para vosotros.

Gracias

INDICE

0. RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 OBJETIVOS PRINCIPALES.....	6
1.2 BASES DE PARTIDA.....	6
1.3 NECESIDAD DE SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN EN UNA EDARU.....	7
2. NORMATIVA.....	9
2.1 NORMATIVA REFERENTE AL AGUA.....	9
2.2 NORMATIVA ELÉCTRICA.....	13
3. UBICACIÓN DE LA PLANTA.....	15
3.1 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	15
3.2 OBRA CIVIL.....	17
4. MATERIA PRIMA.....	18
4.1 DESCRIPCIÓN DEL AGUA RESIDUAL.....	18
4.2 PROPIEDADES FÍSICAS	20
4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS.....	24
4.4 PROPIEDADES BIOLÓGICAS.....	27
4.5 CONTAMINANTES EN EL TRATAMIENTO.....	29
5. PROCESOS DE DEPURACIÓN.....	31
5.1 OBRA DE LLEGADA.....	33

5.2	PRETRATAMIENTO.....	36
5.3	TRATAMIENTO PRIMARIO.....	39
5.4	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	40
5.5	TRATAMIENTO Terciario.....	43
5.6	VERTIDO DEL EFLUENTE.....	46
6.	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	47
6.1	MEDICIÓN DE CAUDAL.....	47
6.2	MEDICIÓN DE NIVEL.....	55
6.3	MEDICIÓN DE OXÍGENO.....	69
6.4	MEDICIÓN DE PH.....	78
6.5	MEDICIÓN DE TURBIDEZ.....	91
6.6	INSTRUMENTACIÓN PROPUESTA.....	100
6.7	ELECCIÓN DEL AUTÓMATA.....	102
6.8	DIAGRAMA DE BLOQUES.....	109
6.9	AUTOMATIZACIÓN POR LÍNEA DE PROCESO.....	110
7.	REFERENCIAS.....	114
7.1	REFERENCIAS DE IMÁGENES.....	114
7.2	REFERENCIAS DE TABLAS.....	117
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	118

0. RESUMEN

El objetivo de este proyecto es el estudio e implantación de un Sistema de Instrumentación y control de la línea de agua en una estación depuradora de aguas residuales urbana (E.D.A.R.U).

Este proyecto de E.D.A.R.U de estructura tipificada presenta a partir de unos datos iniciales, el diseño y la instrumentación necesaria para el tratamiento de los vertidos de una población equivalente a 50000 habitantes con una dotación de 200 l/hab y día.

Una Estación Depuradora de Agua residual tiene el objetivo de conseguir, a partir de aguas negras o mezcladas y mediante procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, un agua efluente de mejores características de calidad y cantidad tomando como base ciertos parámetros normalizados.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS PRINCIPALES

El objetivo principal es el estudio e implantación de un sistema de Instrumentación de la línea de agua y fangos de una estación depuradora de aguas residuales tipificada. De acuerdo con ciertos criterios como son: capacidad de la estación, viabilidad estimada en unos 20 años y económicos.

Se basa en el desarrollo de un sistema básico integrado de control y automatización de planta de tratamiento de agua residual. Con dicha solución se obtienen grandes mejoras con respecto a una explotación tradicional: **Ahorro de energía, disponibilidad del personal para tareas de reparación, mantenimiento y mejoras de explotación, al evitar que realicen tareas rutinarias de proceso.**

El sistema de control permitirá el funcionamiento automático de la estación de tratamiento con la máxima fiabilidad, facilitará al personal encargado de la explotación y gestión de la planta toda la información precisa para conocer el estado de la estación y permitirá que se pueda actuar sobre el proceso.

La instalación estará centralizada en un edificio de control desde el que se monitorizan y controlan los parámetros de la E.D.A.R.U

1.2 BASES DE PARTIDA

El proyecto se realiza con el fin de dotar de un sistema de Instrumentación a la estación depuradora teniendo como datos de partida los resumidos a continuación:

DATOS DE PARTIDA	
Población	50000 habitantes equivalente
Dotación	200 l/he día
Coeficiente Qmax	1,72
Concentración SS Entrada	375 mg/l
Concentración SS Salida	300 mg/l
Concentración DBO Entrada	25 mg/l
Concentración DBO Salida	25mg/l

Tabla 1: Datos de partida

Además se ha estimado un dimensionamiento inicial mínimo de 20 años, con un sobredimensionamiento de acuerdo con el posible incremento poblacional en este tiempo.

1.3 NECESIDAD DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

A medida que el tamaño de las estaciones depuradoras de aguas residuales crece, el control sobre el proceso va siendo más complejo, necesitando nuevas y mejores soluciones.

Por otra parte, el estado actual de nuestra sociedad y nuestro entorno demanda una mejor calidad de los efluentes tratados, sin que por ello los costes derivados del tratamiento se incrementen, sino más bien les ocurra todo lo contrario.

Este planteamiento obliga a tomar las medidas necesarias para conseguir una mayor optimización de la explotación de las E.D.A.R.U.s. Una mayor tecnificación de las mismas facilitará las soluciones adecuadas, y una automatización del control de las estaciones permitirá que el mismo se lleve a cabo de una forma rápida y exhaustiva.

En esta línea, la implantación de un sistema automático de control implicaría una mejora de los rendimientos, de la calidad del efluente final, pues se limitarían los tiempos de respuesta ante cambios de las variables del proceso, y una optimización del coste de la explotación de la planta, al reducirse el número de personas necesarias para realizar las tareas de mantenimiento y conservación.

Con la automatización y control de la E.D.A.R.U se conseguirá reducir el número de personal necesario, que sin lugar a dudas es lo que encarece en mayor cuantía la

explotación de las depuradoras, si bien siempre será necesaria la presencia de un operador en la sala de control.

Otra de las causas que nos lleva a la instrumentación es la necesidad de un funcionamiento continuo. La parada de una bomba, una mala aireación, etc., puede no ser detectada por los operadores de la planta hasta pasado un cierto tiempo, pudiendo esto ocasionar parámetros de salida erróneos.

También podemos confeccionar históricos de averías en cada una de las instalaciones, lo que facilitará la realización de los programas de mantenimiento preventivo optimizando la vida media de cada equipo. La necesidad de conocer, en cada momento, los parámetros determinantes del funcionamiento de la planta sin necesidad de tener que esperar los resultados de los análisis del laboratorio, y actuar rápidamente sobre el proceso, es otra razón más, que conduce inequívocamente a automatizar las plantas depuradoras.

Señalar también que, una buena gestión para el funcionamiento de los equipos ocasionaría, además de la optimización de la vida útil del aparato, la disminución en el coste eléctrico de la instalación, interviniendo en las horas punta de la tarifa contratada sobre aquellos equipos cuyo funcionamiento pueda ser eliminado en ese periodo, o reducido a un nivel mínimo de trabajo.

Por tanto la automatización de una planta de aguas residuales debe concebirse de forma tal que:

- Asegure un buen funcionamiento.
- Disminuya el impacto ambiental.
- Optimice los costes de inversión y explotación.

2. NORMATIVA

En este capítulo se describen los aspectos legales que normalizan los procesos relacionados con el agua.

2.1. NORMATIVA REFERENTE AL AGUA

El Real Decreto legislativo 1/2001, de 20 Julio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de aguas (en adelante RDL 1/2001), es la base legal a tener en cuenta pero no incluye el real decreto ley 11/1995, de 28 de diciembre (en adelante RDL 11/1995) por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Artículos RDL 1/2001:

Artículo 100: A los efectos de la presente Ley, se considerarán vertidos los que se realicen directa o indirectamente en las aguas continentales, así como en el resto del dominio público hidráulico, cualquiera que sea el procedimiento o técnica utilizada. Queda prohibido, con carácter general, el vertido directo o indirecto de agua y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del dominio público hidráulico, salvo que cuente con la previa autorización administrativa.

Artículo 109: El gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas .

El capítulo II marca los usos admitidos del agua:

- a. Usos urbanos: residencial ,(riego de jardines urbanos y descarga de aparatos sanitarios) y Servicios (riego de zonas verdes urbanas, sistema contra incendios, lavado industrial de vehículos).
- b. Uso agrícola: riegos.
- c. Usos industriales: limpieza y uso industria alimentaria.
- d. Usos recreativos: campos de golf y estanques.

- e. usos medioambientales: recarga de acuíferos.

Usos prohibidos en la reutilización:

- a. Consumo humano, salvo situaciones de catástrofe en las que las autoridades sanitarias especificara los niveles de calidad.
- b. Usos industria alimentaria en los que se vean afectados la calidad de consumo humano.
- c. Uso en instalaciones hospitalarias.
- d. Uso recreativo para agua de baño.

Artículos RDL 11/1995:

Este real decreto tiene como objetivo adaptar al ordenamiento interno la Directiva 91/271/CEE, en el cual los países miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que las aguas residuales son tratadas correctamente antes de su vertido.

Artículos vinculantes al proceso de una E.D.A.R.U:

Artículo 2. Definiciones.

A los efectos de este Real Decreto-Ley se entiende por:

- a. *Aguas residuales urbanas*: Las aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.
- b. *Aguas residuales domésticas*: Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.
- c. *Aguas residuales industriales*: Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.
- d. *Aglomeración urbana*: Zona geográfica formada por uno o varios municipios, o por parte de uno o varios de ellos, que por su población o actividad económica constituya un foco de generación de aguas residuales que justifique su recogida y conducción a una instalación de tratamiento o a un punto de vertido final.

- e. *Sistema colector*: Todo sistema de conductos que recoja y conduzca las aguas residuales urbanas, desde las redes de alcantarillado de titularidad municipal, a las estaciones de tratamiento.
- f. *1 he (habitante equivalente)*: La carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO 5), de 60 gramos de oxígeno por día.
- g. *Tratamiento primario*: El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o físico-químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO 5 de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%.
- h. *Tratamiento secundario*: El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente.
- i. *Tratamiento adecuado*: El tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante cualquier proceso o sistema de eliminación, en virtud del cual las aguas receptoras cumplan después del vertido, los objetivos de calidad previstos en el ordenamiento jurídico aplicable.
- j. *Fangos*: Los lodos residuales, tratados o no, procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.
- k. *Zona sensible*: Medio o zona de aguas declaradas expresamente con los criterios que se establecerán reglamentariamente.
- l. *Zona menos sensible*: Medio o zona de aguas marinas declaradas expresamente con los criterios que se establecerán reglamentariamente.
- m. *Estuario*: La zona de transición, en la desembocadura de un río, entre las aguas dulces y las aguas costeras.

Artículo 4. Sistemas colectores.

1. Las aglomeraciones urbanas que se indican a continuación deberán disponer de sistemas colectores para las aguas residuales urbanas, en los siguientes plazos:
 - a. Antes del 1 de enero del año 2001, aquellas que cuenten con más de 15.000 habitantes-equivalentes.

- b. Antes del 1 de enero del año 2006, aquellas que tengan entre 2.000 y 15.000 habitantes-equivalentes.
- c. Antes del 1 de enero del año 1999, aquellas que cuenten con más de 10.000 habitantes-equivalentes y viertan en una *zona sensible*.

Artículo 5. Tratamiento secundario de las aguas residuales urbanas.

1. Las aglomeraciones urbanas que se indican a continuación deberán aplicar a las aguas residuales que entren en los sistemas colectores un tratamiento secundario o proceso equivalente, en los siguientes plazos:
 - a. Antes del 1 de enero del año 2001, aquellas que cuenten con más de 15.000 habitantes-equivalentes.
 - b. Antes del 1 de enero del año 2006, aquellas que cuenten entre 10.000 y 15.000 habitantes-equivalentes.
 - c. Antes del 1 de enero del año 2006, aquellas que cuenten entre 2.000 y 10.000 habitantes-equivalentes y viertan en aguas continentales o estuarios.

Artículo 6. Tratamiento adecuado de las aguas residuales urbanas.

Las aglomeraciones urbanas que se indican a continuación dispondrán de un tratamiento adecuado para sus aguas residuales, antes del día 1 de enero del año 2006, en las siguientes circunstancias:

- a. Aquellas que cuenten con menos de 2.000 habitantes-equivalentes y viertan en aguas continentales y estuarios.
- b. Aquellas que cuenten con menos de 10.000 habitantes-equivalentes y viertan en aguas marítimas.

Artículo 7. Tratamiento de aguas residuales urbanas en *zonas sensibles* y *menos sensibles*.

1. Las aglomeraciones urbanas que cuenten con más de 10.000 habitantes-equivalentes y que viertan las aguas residuales urbanas en *zonas sensibles* deberán disponer, antes del 1 de enero de 1999, de instalaciones adecuadas para que dichas aguas sean sometidas, antes de su vertido, a un tratamiento más riguroso que el tratamiento secundario establecido en el artículo 5, cuyos requisitos se establecerán reglamentariamente.
2. Las aglomeraciones urbanas que viertan en *zonas menos sensibles* podrán someter las aguas residuales urbanas a un tratamiento menos riguroso que el secundario,

siempre que existan estudios globales que indiquen que dichos vertidos no tendrán efectos negativos sobre el medio ambiente y se les aplique un tratamiento primario, y se encuentren entre las siguientes:

- a. Aquellas que cuenten entre 10.000 y 150.000 habitantes-equivalentes y viertan en aguas marítimas.
- b. Aquellas que cuenten entre 2.000 y 10.000 habitantes-equivalentes y viertan en estuarios.
- c. En casos excepcionales, aquellas que cuenten con más de 150.000 habitantes-equivalentes, cuando se demuestre que un tratamiento más avanzado no implicaría ventajas para el medio ambiente.

3. La Administración General del Estado, previa audiencia de las Comunidades Autónomas y de las Entidades locales afectadas, declarará las *zonas sensibles* en las cuencas hidrográficas que excedan del ámbito territorial de una Comunidad Autónoma. Las Comunidades Autónomas efectuarán dicha declaración en los restantes casos y determinarán las *zonas menos sensibles* en las aguas marítimas.

Estas declaraciones se efectuarán de acuerdo con lo que se establezca reglamentariamente y serán publicadas en los diarios oficiales correspondientes.

Artículo 8. Prohibición de vertidos de fangos.

Queda prohibido el vertido de fangos procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales a las aguas marítimas, a partir del día 1 de enero de 1999. Su evacuación a aguas continentales queda prohibida a partir de la entrada en vigor del presente Real Decreto-Ley.

2.2. NORMATIVA ELÉCTRICA

Para el diseño del apartado eléctrico se tendrá en cuenta el reglamento electrotécnico para baja tensión 2002, Real decreto 842/2002, de 2 de agosto. Dentro del reglamento se incluyen las instrucciones técnicas complementarias de las que nos basaremos en las siguientes, ya que el objetivo de este proyecto se basa exclusivamente en el sistema de

instrumentación y se entiende que el resto de las instalaciones dentro de la E.D.A.R.U son objeto de estudio y dimensionamiento fuera del objetivo de este proyecto

- ITC-BT-07 REDES SUBTERRÁNEAS PARA DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN.
- ITC-BT-19 INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. PRESCRIPCIONES GENERALES.
- ITC-BT-22 INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. PROTECCIÓN CONTRA SOBREINTENSIDADES
- ITC-BT-47 INSTALACIÓN DE RECEPTORES MOTORES.
- UNE 21 123-4 : Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV.

3. UBICACIÓN DE LA PLANTA

3.1. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

La planta se ubicará en la comunidad autónoma de la región de Murcia. Dado el crecimiento poblacional, se instalará en el municipio de Archena. Dispone de una población censada según el INE en 2013 correspondiente a 18369 habitantes. Se encuentra en el valle de Ricote con una extensión de 1651 hectáreas.



Ilustración 1: Mapa de localización de Archena

La parcela debe cumplir unos requisitos que se recogen en la legislación española en el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de Enero por el que se aprueba el texto refundido

de la Ley de Evaluación de Impacto ambiental de proyectos. En la elección del lugar adecuado cabe destacar principalmente los siguientes puntos:

- Debe estar lo más alejado posible de los núcleos urbanos para evitar olores y ruidos .
- Preferencia de terrenos municipales para evitar expropiaciones .
- Debe estar lo más alejado posible de zonas de interés turística para evitar la devaluación de la zona .



Ilustración 2: Vista aérea de la parcela

3.2. OBRA CIVIL

A grandes rasgos podemos dividir la obra civil en 4 fases:

- **Movimiento de tierras:**

Lo primero que se realiza es la limpieza y desbroce de la parcela. Posteriormente se planteará la ubicación final de la planta y se realizarán las excavaciones necesarias para el desarrollo de la obra.

- **Edificación:**

En este punto se ejecutan los trabajos de construcción de los distintos procesos de nuestra E.D.A.R.U, así como los puntos secundarios o auxiliares de la misma.

- **Red de tuberías y electrificación:**

A continuación se realiza toda la instalación de la red de tuberías además de la instalación eléctrica completa, ateniéndose a las reglamentación y normas expuestas anteriormente.

- **Accesos:**

Una vez terminado todo lo anterior, se procederá a la construcción de los accesos y viales para comunicar la planta con la carretera y permitir el acceso a la misma.

4. MATERIA PRIMA

4.1. DESCRIPCIÓN DEL AGUA RESIDUAL

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental. Para facilitar este conocimiento, a continuación se proporciona información sobre las diferentes áreas temáticas de interés, que incluyen: (1) introducción a las características físicas, químicas y biológicas del agua residual; (2) definición y utilidad de las características físicas; (3) definición y utilidad de las características químicas; (4) definición y utilidad de las características biológicas; (5) composición de las aguas residuales; y (6) estudios de caracterización de aguas residuales.

A continuación se describen brevemente los constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales y los contaminantes importantes de cara al tratamiento de las aguas.

Constituyentes de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. A continuación se muestran las principales propiedades del agua residual así como sus principales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia. Es conveniente observar que muchos de los parámetros que aparecen en la tabla están relacionados entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual.

Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias .

Características y Procedencia

Propiedades físicas:

- **Color:** Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.

- **Olor:** Agua residual en descomposición, residuos industriales .
- **Sólidos:** Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas .
- **Temperatura:** Aguas residuales domésticas e industriales .

Constituyentes químicos:

Orgánicos

Carbohidratos: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales .

Grasas animales, aceites: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales y grasa.

Pesticidas: Residuos agrícolas .

Fenoles: Vertidos industriales .

Proteínas: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.

Contaminantes prioritarios: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.

Agentes tensoactivos: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.

Compuestos orgánicos volátiles: Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.

Otros: Degradación natural de materia orgánica.

Inorgánicos:

- **Alcalinidad:** Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
- **Cloruros:** Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
- **Metales pesados:** Vertidos industriales.
- **Nitrógeno:** Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas.
- **PH:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales .
- **Fósforo:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de Escorrentía.

- **Contaminantes prioritarios:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
- **Azufre:** Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales .

Gases:

- **Sulfuro de hidrógeno:** Descomposición de residuos domésticos.
- **Metano:** Descomposición de residuos domésticos.
- **Oxígeno:** Agua de suministro; infiltración de agua superficial.

Constituyentes biológicos:

- **Animales:** Cursos de agua y plantas de tratamiento.
- **Plantas:** Cursos de agua y plantas de tratamiento.

4.2. PROPIEDADES FÍSICAS

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

Sólidos totales

Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105°C.

No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en

unidades de ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables.

Olores

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales. En los últimos años, con el fin de mejorar la opinión pública respecto a la implantación de los sistemas de tratamiento, el control y la limitación de los olores han pasado a ser factores de gran importancia en el diseño y proyecto de redes de alcantarillado, plantas de tratamiento y sistemas de evacuación de aguas residuales. En muchos lugares, el temor al desarrollo potencial de olores ha sido causa del rechazo de proyectos relacionados con el tratamiento de aguas residuales. A la vista de la importancia de los olores dentro del ámbito de la gestión de las aguas residuales, resulta conveniente estudiar los efectos que producen, cómo se detectan, y cómo caracterizarlos y medirlos.

Efectos de los olores. A bajas concentraciones, la influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que generan que por el daño que puedan producir al organismo. Los olores molestos pueden reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos, y crear perturbaciones mentales. En condiciones extremas, los olores desagradables pueden conducir al deterioro de la dignidad personal y comunitaria, interferir en las relaciones humanas, desanimar las inversiones de capital, hacer descender el nivel socioeconómico y reducir el crecimiento. Estos problemas pueden dar lugar al descenso de las rentas y el mercado de propiedades, los ingresos por impuestos, y las ventas.

Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21 °C, pudiéndose tomar 15,6 °C como valor representativo. Dependiendo de la situación y la época del año, las temperaturas del efluente pueden situarse por encima o por debajo de las del afluente.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. Por ejemplo, el aumento de la temperatura del agua puede provocar cambios en las especies piscícolas. También es importante para industrias que emplean el agua para refrigeración, por ejemplo, donde es fundamental la temperatura de captación del agua.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35 °C. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50 °C. A temperaturas de alrededor de 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 50 °C. Si se alcanzan temperaturas del orden de 2 °C, incluso las bacterias quimioheterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar. En los Capítulos 8 y 10 se hace mayor hincapié en el papel de la temperatura en el rendimiento de los procesos biológicos de tratamiento.

Densidad

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m^3 . Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual.

Color

Históricamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

Turbiedad

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La materia coloidal dispersa absorbe la luz, impidiendo su transmisión. Aun así, no es posible afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de un agua no tratada. No obstante, sí están razonablemente ligados la turbiedad y los sólidos en suspensión en el caso de efluentes procedentes de la decantación secundaria en el proceso de fangos activados.

4.3. PROPIEDADES QUÍMICAS

El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes cuatro apartados: (1) la materia orgánica, (2) la medición del contenido orgánico, (3) la materia inorgánica, y (4) los gases presentes en el agua residual. El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

Materia orgánica

Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%), y grasas y aceites (10%). Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes.

Junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas, los aceites y la urea, el agua residual también contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja. En esta sección se tratarán ejemplos clásicos como los de los agentes tensoactivos, los contaminantes orgánicos prioritarios, los compuestos orgánicos volátiles y los pesticidas de uso agrícola. Por otro lado, dado el incremento en la síntesis de moléculas orgánicas, el número de ellas presentes en las aguas residuales va en aumento cada año. En los últimos años, este hecho ha complicado notablemente los procesos de tratamiento de aguas debido a la imposibilidad, o a la extrema lentitud de los procesos de descomposición biológica de dichos compuestos.

Demanda bioquímica de oxígeno

El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días (DBO₅). La determinación

del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. A pesar de lo extendido del uso del ensayo de la DBO, está sujeto a ciertas limitaciones. Los ensayos de DBO se emplean para: (1) determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; (2) dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; (3) medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento, y (4) controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

Con el fin de asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos, es preciso diluir convenientemente la muestra con una solución especialmente preparada de modo que se asegure la disponibilidad de nutrientes y oxígeno durante el periodo de incubación. Normalmente se suelen preparar diversas diluciones para cubrir todo el intervalo de posibles valores de la DBO.

Materia inorgánica

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto. Las aguas residuales, salvo el caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar los constituyentes inorgánicos que se incorporan durante el ciclo de uso. Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente, debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua. Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso.

Gases

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el amoníaco (NH_3), y el metano (CH_4). Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Si bien no se encuentran en el agua residual sin tratar, existen otros gases con los cuales debe estar familiarizado un ingeniero sanitario. Tal es el caso, por

ejemplo, del cloro (C12) y el ozono (O3) (desinfección y control de olores), y los óxidos de azufre y nitrógeno (procesos de combustión). Los apartados siguientes sólo hacen referencia a aquellos de interés para el agua residual bruta. En estas aguas, el amoníaco se encontrará como ion amonio en la mayoría de los casos.

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: (1) solubilidad del gas; (2) presión parcial del gas en la atmósfera; (3) temperatura, y (4) pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc.).

Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales. El problema se agrava en los meses de verano, debido a que el caudal de los cursos de agua es generalmente menor, razón por la cual la cantidad total de oxígeno disponible es también menor. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.

Sulfuro de hidrógeno. Como ya se ha comentado anteriormente, el sulfuro de hidrógeno se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor típicamente característico que recuerda al de huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y del fango se debe, generalmente, a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso (FeS) u otros sulfuros metálicos. Desde el punto de vista de la generación de olores, y aunque el sulfuro de hidrógeno es el gas generado de mayor importancia, pueden formarse durante la descomposición anaerobia otros compuestos volátiles, como el indol, el escatol y los mercaptanos, que pueden ser responsables de olores más desagradables que los producidos por el sulfuro de hidrógeno.

Metano. El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano. El metano es un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro. Normalmente, no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, puesto que incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de la producción del metano. No obstante, en ocasiones, se produce metano como resultado de un proceso de descomposición anaerobia que puede darse en depósitos acumulados en el fondo. Debido a que el metano es sumamente combustible y a que el riesgo de explosión es elevado, los pozos de registro y empalmes de alcantarillas o cámaras de conexión en los que exista el

riesgo de acumulaciones de gas deberán ser aireados con un ventilador portátil antes y durante los lapsos de tiempo en los que los operarios trabajen en ellos. En las plantas de tratamiento, el metano se genera en los procesos de tratamiento anaeróbicos empleados para la estabilización de los fangos de aguas residuales.

Además, deberán disponerse carteles de aviso sobre el peligro de explosión existente, y los operarios deberán ser instruidos acerca de las medidas de seguridad que hay que respetar durante los horarios de trabajo en las estructuras en las que pueda aparecer el gas.

4.4. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

El agua residual contiene multitud de microorganismos, que requieren del tratamiento biológico adecuado para su eliminación.

Microorganismos

Los principales microorganismos presentes en el agua residual son las bacterias, los hongos, algas y virus.

Bacterias

El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, es amplio y de gran importancia. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis.

Los coliformes también se emplean como indicadores de la contaminación por desechos humanos.

Hongos

Los hongos junto con las bacterias, son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con PH bajos. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de

la materia orgánica el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

Algas

Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Este fenómeno, que se conoce con el nombre de crecimiento explosivo, puede conducir a que ríos, lagos y embalses sean cubiertos por grandes colonias flotantes de algas. Los crecimientos explosivos son característicos de los llamados lagos eutróficos, que son lagos con gran contenido en compuestos necesarios para el crecimiento biológico. Puesto que el efluente de las plantas de tratamiento del agua residual suele ser rico en nutrientes biológicos, la descarga del efluente en los lagos provoca su enriquecimiento y aumenta su tasa de eutrofización.

En los ríos pueden producirse efectos análogos.

La presencia de algas afecta al valor del agua de abastecimiento, ya que puede originar problemas de olor y de sabor. En cuanto a los usos del agua relacionados con el ocio, las algas también pueden alterar el valor de las aguas superficiales debido al crecimiento de ciertas especies de peces y formas de vida acuáticas. La determinación de la concentración de algas en aguas superficiales se realiza tomando muestras por alguno de los métodos conocidos y haciendo un recuento al microscopio.

Virus

Los virus, invaden las células del cuerpo vivo que los acoge y reconducen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales a costa de las células originales.

Cuando muere la célula original, se liberan gran cantidad de virus que infectarán células próximas.

Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública.

Se sabe con certeza que algunos virus pueden sobrevivir hasta 41 días, tanto en aguas limpias como residuales a la temperatura de 200°C, y hasta 6 días en un río normal. Se ha atribuido al agua de abastecimiento ciertos brotes de hepatitis infecciosa.

Organismos Patógenos

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera. Debido a la alta infecciosidad de estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales.

4.5. CONTAMINANTES EN EL TRATAMIENTO

A continuación se describen los contaminantes de interés en el tratamiento del agua residual. Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Gran parte de las normas implantadas recientemente, más exigentes, incluyen el control de la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios. Cuando se pretende reutilizar el agua residual, las exigencias normativas incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y, en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos.

Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar en entorno acuático.

Materia orgánica biodegradable

Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.

Patógenos

Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.

Nutrientes

Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.

Contaminantes prioritarios

Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.

Materia orgánica refractaria

Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.

Metales pesados

Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.

Sólidos inorgánicos disueltos

Los constituyentes tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

5. PROCESOS DE DEPURACIÓN

Las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales urbanas constan de tres elementos principales:

- **Recogida y conducción** de las aguas residuales hasta la estación de tratamiento.
- **Tratamiento** propiamente dicho de las aguas residuales.
- **Evacuación** de los productos resultantes del tratamiento: efluentes depurados y lodos.

Recogida y conducción

La recogida y conducción de las aguas residuales desde donde se generan hasta la estación depuradora se realiza a través de una compleja red de tuberías (alcantarillado, colectores). Dependiendo de la topografía, las aguas discurrirán por gravedad o será necesario recurrir a su bombeo.

Normalmente, los sistemas de recogida son unitarios. Es decir, la red de saneamiento recoge tanto las aguas residuales, como las de lluvia. En otros casos, aunque aun en baja proporción, los colectores que llegan a la estación de tratamiento transportan tan solo aguas residuales, mientras que las aguas de lluvia se recogen en colectores independientes (sistemas segregativos).

Con el objetivo de que a la estación depuradora no llegue mas caudal del proyectado, en los colectores y/o en las obras de llegada a las E.D.A.R.U se instalan aliviaderos, que permiten derivar los excesos de caudal. Esta situación tiene lugar principalmente en periodos en los que se registran fuertes lluvias.

Igualmente, para poder derivar todo el agua residual antes de su entrada a la depuradora, en caso de problemas de funcionamiento, se instala a la llegada de los vertidos un bypass general.

También, se disponen bypass parciales detrás de cada etapa del tratamiento de las aguas, para poder proceder al vertido de los efluentes de estas etapas sin pasar por la fase siguiente, en caso de que se registren incidentes operativos. Estos bypass suelen descargar en una misma linea, junto con el bypass general y los efluentes depurados.

Tratamiento

El tratamiento de las aguas residuales consta de un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores.

En las depuradoras convencionales de aguas residuales se distinguen dos líneas de tratamiento:

- **Línea de agua:** incluye los procesos o tratamientos que permiten reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- **Línea de lodos (fangos):** en ella se tratan la mayor parte de los subproductos que se originan en la línea de agua.

ESQUEMA DE TRATAMIENTO

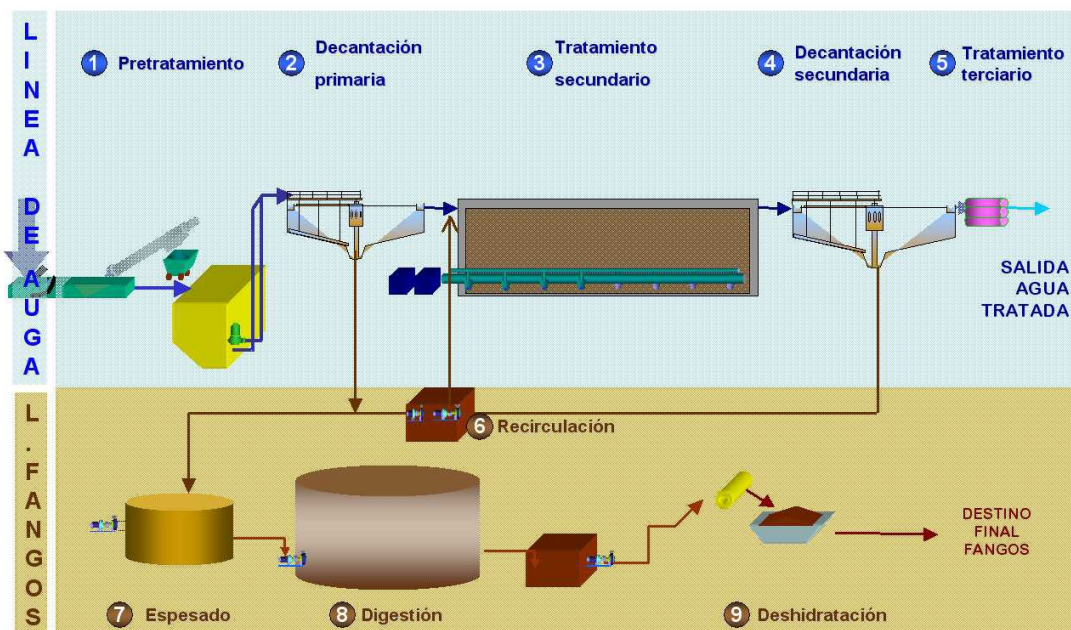


Ilustración 3: Esquema de tratamiento

5.1. OBRA DE LLEGADA

Denominamos obra de llegada al conjunto de instalaciones que reciben el agua residual de la red de saneamiento. Está constituida por uno o varios canales abiertos que conectan con el colector de entrada.

El sistema de recogida de aguas residuales puede ser:

- Segregativo: son aquellos sistemas que poseen redes independientes de colectores para los diversos tipos de aguas que recogen (urbanas/de lluvia, de proceso/intercambiadores de calor, etc.). Están indicados para aquellos casos en que la naturaleza de las aguas recogidas es muy diferente en función del proceso del que provengan, y su separación en origen permite diseñar sistemas de depuración independientes para cada tipo de agua.
- No segregativos: son aquellos sistemas que poseen una única red de colectores donde se recogen todo tipo de aguas para su tratamiento posterior. Presentan la ventaja de la "dilución" de los contaminantes, de manera que aquellas sustancias que pueden dar problemas en el sistema de tratamiento (grasas, metales pesados, etc.) son diluidos con aguas que no los contienen; por el contrario presentan el problema de que el volumen de agua que se debe tratar es mucho mayor, pues incluye la que presenta la sustancia problema y las que no.

En nuestro diseño se dispondrá de un sistema no segregativo compuesto por un único canal, el cual llevará un aliviadero lateral para tormentas que desemboca en un canal de by-pass, cuyo objetivo es desviar parte del caudal de entrada a la planta fuera de ella en caso de que el caudal de entrada sea excesivo. Dicho canal se conecta con una balsa donde se almacena el agua para su tratamiento posterior o bien a un colector auxiliar.

La presencia de este conjunto de elementos es esencial para evitar la entrada en el sistema de caudales demasiado elevados (consecuencia de las tormentas) o de sustancias que puedan colapsar el funcionamiento normal de la planta (fuertes concentraciones de sustancias tóxicas como metales pesados, grasas, aceites, etc.).

Otro elemento ubicado en la obra de llegada es el desagüe de todos los exudados de las diversas unidades de proceso de la planta de depuración (espesador, balsa de flotación, digestor anaerobio, etc.); estos deben ser canalizados a cabecera de planta para su correcto tratamiento al tratarse de aguas no tratadas convenientemente y que contienen una alta concentración de contaminantes.

Pozo de gruesos

Se trata del primer elemento de eliminación de sólidos de gran tamaño. Básicamente es una balsa de planta cuadrada o rectangular con tiempo de residencia muy corto para evitar la sedimentación de materia orgánica y sólidos pequeños.

Habitualmente a la salida del mismo se incorpora una reja muy gruesa compuesta de perfiles verticales de amplia separación entre ellos. La entrada es simplemente la embocadura de los colectores en el pozo.



Ilustración 4: Pozo de Gruesos

Fuente: <https://es.wikibooks.org>

La misión del pozo de gruesos es múltiple:

- Eliminar de la corriente los sólidos de gran tamaño que originan problemas incluso en las rejillas de gruesos.
- Eliminar grandes cantidades de sólidos que ocasionalmente puedan llegar y sobrecargar las rejillas, por ejemplo, a causa de una tormenta.
- Eliminar grandes cantidades de arena que puedan crear problemas en las rejillas o sobrecargar el desarenador.
- Eliminar arenas gruesas que puedan depositarse en los canales y tuberías.

El fondo del pozo de gruesos suele tener forma de tolva para facilitar la extracción de los sólidos depositados, los cuales son extraídos de manera manual, o más comúnmente mediante una cuchara bivalva accionada mediante polipasto eléctrico. Los sólidos retirados son depositados en contenedores y gestionados como Residuos Sólidos Inertes (RSI's)

Rejas de desbaste

El desbaste es un proceso de naturaleza física consistente en interponer un medio material discontinuo en la dirección de flujo del agua a tratar. El tamaño característico de la discontinuidad se denomina luz, y nos indica el tamaño máximo de las partículas que podrán atravesar el sistema de desbaste.



Ilustración 5: Rejas de desbaste

Fuente: <http://aula.aguapedia.org>

El desbaste mediante rejas es uno de los tratamientos más antiguos que se han realizado en el agua residual y su fin es proteger los equipos situados aguas abajo de daños y problemas debidos a sólidos de gran tamaño.

El sistema de separación consiste en rejas manuales o mecánicas situadas en los canales de alimentación a la planta. Estas constan primordialmente de barras de acero verticales o inclinadas espaciadas a intervalos regulares a lo ancho del canal, a través de las cuales pasa el agua residual. Los tipos comúnmente empleados de reja se denominan rejas de gruesos y rejas de finos. Las primeras eliminan los residuos grandes y las segundas se encargan de los sólidos de menor tamaño. Las rejillas de paso muy fino se denominan tamices y pueden utilizarse obteniendo en este caso cierta reducción de sólidos en suspensión. En cuanto al diseño del canal de rejas, la velocidad debe ser suficiente para evitar la deposición de residuos y arena.

Respecto al tipo de limpieza, pueden ser manuales o mecánicas. Las de tipo manual tienen normalmente de paso entre 25 y 50 mm con barrotes bastante inclinados para facilitar la limpieza manual. Los residuos son arrastrados por el operador con un rastrillo hasta un

plato perforado donde escurren antes de su deposición. Se utilizan en plantas pequeñas o con poca cantidad de residuos o como derivación (by-pass) de las mecanizadas.

Las rejas mecánicas disponen de peines que se mueven de arriba a abajo arrastrando los residuos. Se comercializan en multitud de modelos: reja de tracción mediante cable, reja de cadena de un solo peine, reja de catenaria, reja de peines múltiples, rejas móviles, rejas hidráulicas, etc.

Dada la naturaleza de los objetos retenidos por las rejas, los residuos eliminados tienen catalogación de RSU's, y como tales deben ser tratados.

5.2. PRETRATAMIENTO

El agua residual procedente del desbaste es sometida a un proceso para la eliminación de las arenas y grasas que transporta. Las arenas, debido a su mayor peso, sedimentan en el fondo.

Las grasas ascienden a la superficie por flotación, ayudadas por el burbujeo de aire que generan soplantes y que distribuyen difusores sumergidos.

Tamices

Los tamices son un sistema más para la separación de sólidos en suspensión del agua a tratar. Su eficiencia en la separación se sitúa entre las rejillas de desbaste y los decantadores primarios. Suelen ser bidimensionales mediante perforaciones efectuadas en una plancha o una malla trenzada y de luz inferior a 1,5 cm, normalmente comprendida entre 0,2 y 0,6 cm.

Para un correcto funcionamiento del tamiz, las perforaciones de sección variable (en la dirección de desplazamiento del agua) deben colocarse de forma que la sección menor quede en contacto con el agua a tamizar, evitando con ello atascamientos del tamiz.

Los tamices se dividen en: rotativos, estáticos y automáticos.

- Rotativos: están constituidos por una lámina perforada formando un cilindro o tambor que gira en torno a su eje principal. La alimentación puede ser bien por la parte interna del tambor, o más comúnmente por la cara externa; quedando retenidos los sólidos en la superficie del tamiz, de donde son eliminados mediante un rascador y depositados en un

contenedor. Finalmente el agua filtrada sale por un lateral del tambor pasando al siguiente tratamiento.



Ilustración 6: Tamiz rotativo

Fuente: <http://dciaguas.com>

El accionamiento del tamiz es mecánico y gira a baja velocidad, por lo que incorpora un motorreductor de poca potencia, lo que implica un consumo de energía pequeño. La limpieza del tambor se realiza mediante una rasqueta que descarga los residuos en un contenedor y se complementa con una línea de boquillas alimentada con agua a presión.

- Estáticos: consisten en una lámina perforada o malla tejida, con una inclinación de más de 70° con respecto a la horizontal, que permite que los sólidos se deslicen por la misma por la acción de la gravedad y el empuje del agua que pasa por el tamiz. La alimentación se efectúa por la zona superior mientras que el desagüe tiene lugar por la zona inferior de la cara opuesta del tamiz.

Se suele producir una acumulación de sólidos en la parte baja del tamiz en la zona en que prácticamente todo el agua ha atravesado el mismo. Por esta razón requiere frecuentemente la atención de un operador para su limpieza.

- Automáticos: pueden estar formados por un sistema fijo de retención de sólidos (placa perforada o malla trenzada) sobre la que se desplaza un sistema automático de limpieza (rasqueta o cepillo) o móvil de retención que arrastra los sólidos retenidos hasta el sistema de eliminación de los mismos.

Los problemas que se encuentran más habitualmente en los tamices son derivados de una mala limpieza que conduce a su colmatación y desbordamiento al no ser capaz de tratar todo el agua que recibe o también por un dimensionamiento escaso con la consiguiente incapacidad de tratar el caudal de diseño.

Respecto a los residuos eliminados, debido a la presencia de materia putrescible, incluida la materia fecal patógena, así como grasas y espumas, es necesario manejarlos y eliminarlos como RSU's (Residuos Sólidos Urbanos).

Desarenador-desengrasador

La eliminación de arena y/o sólidos abrasivos de elevada densidad previene la abrasión y el desgaste de los equipos mecánicos así como su posterior decantación en tuberías y canales o acumulación en procesos posteriores como la digestión. El problema de la arena se presenta en las instalaciones en donde hay recogida superficial de aguas de lluvia con el consiguiente arrastre de arena especialmente durante las tormentas. Otro contaminante es el aceite libre, en suspensión en el seno del agua. Puede ser separado mediante separadores por gravedad.

Uno de los problemas para el diseño de sistemas que eliminen eficientemente grasas y arenas simultáneamente es que las velocidades características de desplazamiento de ambos tipos de sustancias son diferentes, siendo unas diez veces más rápido el desplazamiento de las arenas que el de las grasas. La forma de acelerar la velocidad ascensional de las grasas hasta igualarla a la de caída de las arenas es insuflar aire en forma de burbujas. En este principio está basado el desarenador-desengrasador, el cual consta de dos zonas básicas: la zona de entrada y los canales separadores.



Ilustración 7: Desarenador-Desengrasador

Fuente: <https://datateca.unad.edu.co>

En la zona de entrada se produce una deposición de sólidos densos (especialmente arena), actuando de desarenador, y el desemulsionado de grasas por aireación. La zona de separación constituye el desengrasador. Inicialmente se instala un dispositivo de difusión de la energía del fluido consistente en un baffle vertical ranurado. Su función es disminuir la velocidad del fluido, reducir la turbulencia y distribuir el flujo de forma homogénea en la

totalidad de la sección. Detrás de los baffles se extienden los canales separadores donde la velocidad del agua disminuye y permite la separación del aceite en la capa sobrenadante superior. Posteriormente el aceite separado y los sólidos sedimentados son retirados de los canales por un mecanismo barredor. El agua sale por un vertedero protegida por un deflector que impide el paso de los aceites.

5.3 TRATAMIENTO PRIMARIO

Decantación primaria

El objetivo de la decantación primaria es la eliminación de los sólidos en suspensión, aunque también elimina del sistema la materia orgánica o DBO contenida en los mismos. No tiene efectividad alguna con la DBO disuelto.

Básicamente consiste en retener el agua en una balsa para que decanten la mayoría de los sólidos decantables y separarlos en forma de fango. También se separan sólidos y aceites en la superficie del decantador.

Un beneficio adicional de la decantación primaria es que produce un cierto grado de homogeneización en el influente al biológico, al actuar como balsa de homogeneización dados los altos tiempos de residencia hidráulica del sistema de decantación.



Ilustración 8: Decantador primario circular mecanizado

Fuente: <http://sadyt.com>

Los decantadores pueden ser estáticos o mecanizados en cuanto a su funcionamiento y circulares o rectangulares en cuanto a su forma.

Los de tipo estático no tienen mecanismo de arrastre de fangos y son siempre de pequeño diámetro por requerir una pendiente mínima de 45° en el fondo.

Los decantadores circulares y mecanizados son los más frecuentes. Además de la balsa o depósito de decantación disponen de los siguientes elementos básicos:

- Mecanismo de barrido de fangos, que los arrastra hasta un poceto central desde donde son extraídos por tubería. El mecanismo es movido por el puente radial del decantador que gira alrededor de su eje central.
- Mecanismo de arrastre de flotantes que es solidario con el de fangos y conduce los flotantes hasta una caja o arqueta de recogida situada en el interior del decantador desde la que salen por gravedad al exterior.
- Entrada de agua a través de ranuras en la columna central, incorporando una pantalla deflectora que provee una cámara de tranquilización. A veces la campana tiene ranuras para favorecer el paso de los flotantes.
- Salida de agua a través de un vertedero generalmente en diente de sierra y con deflector si se separan flotantes. El canal de recogida puede ser exterior o interior al decantador, siendo el último de más fácil construcción.

5.4 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Decantación secundaria

Para los decantadores secundarios es en general aplicable lo dicho para los decantadores primarios con algunas puntualizaciones. Para decantadores de gran diámetro se pueden utilizar mecanismos de succión, caracterizados por ser capaces de sacar mayor cantidad de fangos biológicos aerobios, que podrían fermentar anaeróbicamente dentro del decantador, dando lugar a la formación de burbujas de metano o nitrógeno que provocan la flotación del fango.



Ilustración 9: Decantador secundario circular

Fuente: <http://mainser.com>

Un problema general de los decantadores secundarios es la formación de algas en el canal perimetral.

Tratamiento biológico

Actualmente es el sistema más común para el tratamiento secundario con un gran número de variaciones posibles. Consiste en poner en contacto en un reactor, la materia orgánica junto con los microorganismos en suspensión en el seno del fluido, para que éstos produzcan la asimilación de la materia orgánica (biodegradación) y formen nueva biomasa (floculación). Será necesario un aporte de oxígeno para los requerimientos biológicos. Además este proceso tiene la particularidad de aumentar la concentración de bacterias en el agua residual gracias a la recirculación de las que salen con el efluente.



Ilustración 10: Tratamiento biológico

Fuente: <https://aguasresiduales.info>

Los microorganismos presentes en el reactor convierten los componentes biodegradables del agua residual en nuevas células y subproductos, que se separan del efluente por sedimentación.

Lodos activos

El sistema de lodos activos consta de dos unidades básicas independientes: el reactor de aireación y por otro el decantador secundario. El agua residual alimenta de forma continua al reactor, suministrándole oxígeno. Una vez que los microorganismos han realizado la biodegradación de la materia orgánica, la mezcla del agua y el fango formado se transfieren por gravedad hasta el decantador secundario. El fango separado por el fondo del decantador se recircula a la entrada de la balsa de lodos activos para aumentar la concentración de microorganismos en la misma. Esta recirculación se mantiene hasta que la concentración de sólidos en suspensión en la balsa (MLSS) es la necesaria, en este momento se comienza a purgar parte de los sólidos separados en el decantador secundario, con el fin de mantener constante la concentración de MLSS. Los fangos purgados se denominan fangos en exceso. El licor mixto que está en la balsa incluye: agua residual, microorganismos, materia inerte y materia orgánica, biodegradable o no.

Además de la balsa y el decantador, el sistema de lodos activos deberá tener:

- Equipo de suministro de oxígeno o aire. Para los sistemas de aporte de oxígeno podemos encontrar turbinas o difusores. Los difusores proporcionan burbujas a partir de aplicaciones porosas. Las turbinas de aireación consisten en un agitador superficial que mezcla el contenido de la balsa produciendo turbulencias.
- Sistema de mezcla para la balsa de aireación que mantenga los MLSS en suspensión. Generalmente es el mismo que suministra oxígeno.
- Sistema de bombeo para recircular el fango separado en el decantador hasta la balsa de aireación.
- Sistema de bombeo para purgar el exceso de MLSS.

El proceso de lodos activos emplea una suspensión de microorganismos floculentos que comprenden bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc., que tratan el agua residual. La población de microorganismos es mayoritariamente heterótrofa (no realizan la función clorofílica) y requiere materia orgánica biodegradable para obtener energía y realizar la síntesis celular. Los protozoos y los rotíferos son generalmente depredadores que se alimentan de bacterias, mejorando la capacidad de floculación y clarificación de la biomasa. Éstos pueden constituir como máximo un 5% de la masa de microorganismos.

Durante el proceso de depuración tiene lugar una serie de reacciones bioquímicas que se pueden simplificar en tres actividades fundamentales: oxidación, síntesis y ocasionalmente auto-oxidación. La oxidación libera energía gracias a la conversión de la materia orgánica en productos de bajo nivel energético (CO_2 y H_2O). La síntesis es la conversión de una porción de la materia orgánica en nueva biomasa gracias a la energía liberada en la oxidación. La auto-oxidación es la conversión de algunos de los constituyentes de las células en productos de bajo nivel de energía con liberación de energía adicional. Esta solo tiene lugar cuando hay escasez de alimento para las células.

En ciertas circunstancias puede tener lugar un desarrollo excesivo de microorganismos filamentosos que pueden interferir en el buen funcionamiento de la planta debido a que se produce una deficiente sedimentación del fango (bulking) o formación anormal de espumas (foaming), ambos fenómenos producen una deficiente separación del fango y el arrastre del mismo con el agua depurada.

Sistemas de desnitrificación-nitrificación

Una modificación del sistema convencional de lodos activos es el proceso con desnitrificación, que utiliza la propia DBO soluble del agua residual como fuente de carbono endógeno.

La desnitrificación tiene lugar en condiciones anóxicas por microorganismos heterótrofos como pseudomonas, achromobacter y bacillus, y utilizan nitrato como fuente de oxígeno siempre y cuando haya carbono orgánico disponible para ser oxidado, reduciéndose el nitrato a nitrógeno molecular (N_2).

Con este proceso se obtiene un alto rendimiento de eliminación de nitrógeno, además de que la alcalinidad generada en la desnitrificación se aprovecha en la nitrificación. Parte de la DBO se consume en la balsa anóxica previa, con el consiguiente ahorro de oxígeno y energía, y no requiere metanol puesto que utiliza la DBO del agua residual y el carbón endógeno.

5.5. TRATAMIENTO TERCIARIO

Cloración

Se entiende por cloración o desinfección, la destrucción mayoritaria de las bacterias patógenas. No obstante, a pesar del largo efecto de permanencia del cloro (varios días),

bajo la acción del mismo permanecen inalterados muchos virus y esporas formadoras de bacterias.

El funcionamiento como desinfectante del cloro esta basado en su poder oxidante. Se introduce en el interior de las células y destruye ciertos enzimas esenciales para su supervivencia. Durante la cloración se puede obtener cierta reducción de la DQO.

En presencia de ciertos contaminantes del agua residual, el cloro reacciona dando lugar a nuevos compuestos. Por ejemplo, en presencia de amoníaco el cloro forma cloraminas. Para obtener cloro libre disponible en el agua residual generalmente son necesarias altas dosis debido a la elevada contaminación de ésta.

La dosis de cloro depende de la demanda de cloro, es decir, de la cantidad que se combine con los diversos productos químicos del agua residual antes de aparecer como cloro libre.

La eficacia de la eliminación de bacterias con la cloración se mide en términos de coliformes presentes en el agua residual.

Espesadores

Para el espesamiento de fangos se utilizaran 2 tipos de espesadores en función del elemento a tratar:

- **Espesador por gravedad:** esta especialmente recomendado para la concentración de fangos primarios, en los que predominan los sólidos inorgánicos más densos que los orgánicos. Son balsas generalmente circulares de flujo vertical con barredoras de fondos con picas verticales, colector central de sedimentos y rasqueta de espumas con artesa colectora de las mismas. La campana distribuidora tiene por función repartir y tranquilizar el flujo de la corriente de alimentación. El lento movimiento de las picas favorece la formación de flóculos y aumenta la sedimentabilidad de los mismos. En muchas ocasiones es necesario la adición de coagulantes y floculantes para aumentar el rendimiento del proceso de sedimentación. Las concentraciones en sólidos que se alcanzan están normalmente comprendidas entre el 10 y el 15 %.

- **Espesador por flotación:** basa su funcionamiento en el proceso de flotación, que consiste en la concentración de fangos poco densos aprovechando burbujas de aire para arrastrarlos hasta la superficie. A diferencia de los espesadores por gravedad, no suele provocar problemas de atascos en las tuberías ni malos olores.

Está indicada su utilización para concentrar fangos de tipo biológico como los fangos en exceso de un sistema de lodos activos o fangos digeridos aeróbicamente.

El funcionamiento del sistema se basa en adherir a unos flóculos biológicos, cuya densidad es muy parecida a la del agua, burbujas de aire de reducido tamaño. Esto provoca que la densidad aparente del conjunto sea menor que la del agua y ascienda hasta la superficie. Es importante una retirada rápida y efectiva del fango que evite el desprendimiento de burbujas inestabilidad del proceso.

Digestores anaerobios

Los fangos producidos en una depuradora tienen gran tendencia a la putrefacción y a la producción de malos olores. El fin de la digestión es la descomposición de la materia orgánica putrescible hasta obtener productos estables e inertes. La base de los procesos anaerobios es la transformación de la materia orgánica por la acción de microorganismos en biogás y nuevos microorganismos, quedando restos no biodegradables.

La digestión anaerobia de lodos se realiza en ausencia de oxígeno por microorganismos anaerobios, utilizándose para el proceso recipientes cerrados. En el digestor se pueden destruir casi todos los componentes orgánicos del fango, como residuos, hierbas, semillas, etc.

El digestor más común es del tipo de mezcla completa, utilizado para digerir fangos procedentes de aguas residuales urbanas. Consisten en un depósito con forma cilíndrica, fondo cónico y cúpula cónica o esférica. En la parte superior se almacenan los gases que se desprenden en la digestión y el resto del volumen lo ocupan los fangos que salen por rebose, manteniendo así un nivel constante.



Ilustración 11: Digestor

Fuente: <http://aguasresiduales.info>

La digestión tiene lugar en 2 fases principalmente. En la primera, con PH de 3,5, los microorganismos atacan las sustancias disueltas en el fango, formando ácidos orgánicos, anhídrido carbónico y ácido sulfhídrico. Esta primera fase se conoce como digestión ácida, la cual debe ir inmediatamente seguida de la alcalina, que constituye la segunda fase. En ésta, el PH sube hasta 7.4, transformándose los productos de la primera fase de la digestión en gases carbónico y metano principalmente.

Los fangos alimentados al digestor pueden contener alrededor de un 70% de sólidos volátiles, de los cuales el 50% son destruidos en una buena digestión. Ésto implica que la concentración del fango digerido se reduce respecto al fango bruto. Los sólidos destruidos se transforman en energía, alimento para los microorganismos del medio y en gases de digestión.

La temperatura es factor esencial en el proceso de digestión anaerobia; el aumento de temperatura reduce el tiempo de digestión e incrementa la producción gaseosa. En principio los digestores deberían trabajar a la más alta temperatura posible, pero se producen problemas de índole práctico. Según la temperatura las bacterias se denominan mesófilas cuando viven entre 20 y 40°C, termófilas entre 45 a 65°C y psicrófilas cuando viven a menos de 20°C.

Por razones prácticas de operación como mineralización de fangos, atascamiento de conducciones, incrustaciones, etc., se trabaja en el rango de las bacterias mesófilas y normalmente a temperaturas entre 32-35°C. Para trabajar a dicha temperatura, es necesario un aporte de calor a los digestores que se realiza con un doble fin: calentar el fango a la temperatura deseada y compensar la pérdida de calor en paredes, cubiertas y fondo.

5.6 VERTIDO DEL EFLUENTE

Una vez tratada el agua puede ser enviada a través de una tubería a un río o a un mar en función de la localización de la planta de tratamiento. En este vertido se deben controlar los niveles de contaminación para que al incorporarse al efluente estén en unos niveles recomendables y aceptables

6. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

6.1 MEDICIÓN DE CAUDAL

FUNDAMENTOS TEORICOS

Las especificaciones para cualquier tipo de caudalímetro se dan sobre la base de una instalación en condiciones ideales. Existen directrices de instalación para todas las tecnologías. Estas directrices deben ser consideradas como los requisitos mínimos:

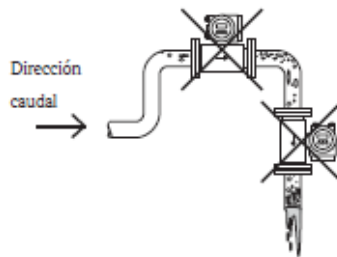


Ilustración 12: Zonas no recomendadas de Instalación

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

- **El caudalímetro debe permanecer completamente lleno en todo momento**

Este requisito resulta de la máxima importancia para aplicaciones de llenado y dosificación, ya que muchos caudalímetros (a diferencia de los caudalímetros másicos) miden la velocidad del fluido, para lo que asumen que toda la sección está llena de líquido. Si el caudalímetro no está completamente lleno, los errores en la medición son mayores.

- **Instalación en el punto de trabajo más alto de la tubería**

- La instalación de un caudalímetro en el extremo superior de un sistema de tuberías presenta el riesgo de que acumule aire que influya negativamente en su ejecución.
- Hay que evitar la instalación de un caudalímetro “aguas arriba” de una salida de tubería al aire libre porque podría entrar aire en el mismo y provocar errores de medición.

- Un caudalímetro debería estar instalado siempre en un punto de trabajo en la parte baja de una tubería. De este modo se garantiza que haya suficiente presión hidrostática para evitar cavitaciones y que el contador siempre permanezca lleno.
- **Instalación en un sifón**

A veces no se puede asegurar que la tubería esté siempre llena (por ejemplo en tuberías de aguas residuales). Esto puede implicar que se produzcan errores en la medición o incluso situaciones en las que el caudalímetro deja de funcionar.

 - En estos casos, el caudalímetro debería instalarse en un sifón.
 - Si el líquido transporta partículas sólidas, se recomienda tener previstos accesos para las tareas de limpieza. Una tubería en forma de U o una tubería con cierta inclinación podrían ser algunas soluciones sencillas.

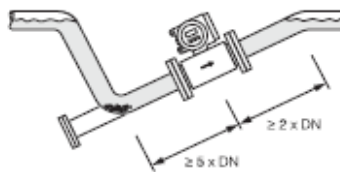


Ilustración 13: Instalación en un sifón

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

El punto ideal para la instalación de un caudalímetro es una tubería vertical en posición ascendente.

- El contador debe estar instalado aguas arriba y disponer de suficiente tramo recto de tubería.

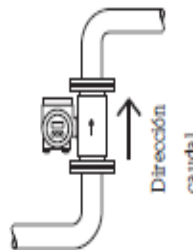


Ilustración 14: Punto de montaje ideal para un caudalímetro

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

SISTEMA DE MEDICIÓN

Medida de caudal mediante caudalímetro electromagnético.

Principio de medida

Para medir un caudal basándose en los principios de la ley de inducción de Faraday se genera un campo magnético alterno con bobinas de cables de cobre. Una corriente controlada por la bobina garantiza que la intensidad del campo magnético se mantenga constante durante la medición.

La longitud del conductor (distancia entre ambos electrodos de medición) también es un valor constante. La única variable en la ecuación de Faraday es la velocidad de circulación del caudal. La tensión generada es exactamente proporcional y lineal a la velocidad de circulación del caudal. Un caudalímetro electromagnético (EMF) no mide volumen, sino velocidad.

Este tipo de caudalímetro será utilizado en las siguientes partes:

- **Entrada de agua al tratamiento biológico.**
- **Recirculación fangos.**
- **Purga fangos.**
- **Fangos espesados.**

El sistema consta de un transmisor de medida Promag y un sensor Promag 50L. Este sistema mediante la Ley de inducción de Faraday nos dará medidas puntuales de los caudales de cada parte de nuestra E.D.A.R.U que serán transmitidos al autómata.

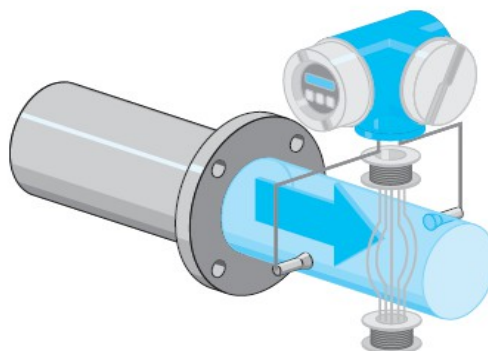


Ilustración 15: Caudalímetro electromagnético

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Transmisor Promag 50

Transmisor para la medición de caudal en aplicaciones de agua o de aguas residuales.

- Aplicación:
 - Pueden medirse todos los fluidos que tengan como mínimo una conductividad mayor de 5uS/cm.
 - Agua potable.
 - Aguas residuales.
 - Lodos de depuradoras...etc.

Para medir agua desmineralizada se requiere que ésta tenga como mínimo una conductividad mayor de 20u/cm.

Montaje del transmisor Promag 50

Existen dos versiones del transmisor Promag 50:

- Versión compacta: el transmisor y el sensor forman una única unidad mecánica.
- Versión remota: el transmisor y el sensor están instalados separadamente.

Nosotros usaremos la versión compacta del Promag 50.

La medición correcta solamente es posible si la tubería está llena. Hay que evitar los lugares siguientes:

- El punto más alto de una línea de tuberías. Riesgo de acumulación de aire.
- Directamente aguas arriba de una salida de tubería libre en un tubo vertical.

Conexión eléctrica

El compartimento de conexiones está provisto para la conexión de los cables de unos bornes de conexión de resorte. Se puede insertar directamente cualquier conductor rígido o flexible que esté dotado con casquillo, estableciéndose así automáticamente el contacto.

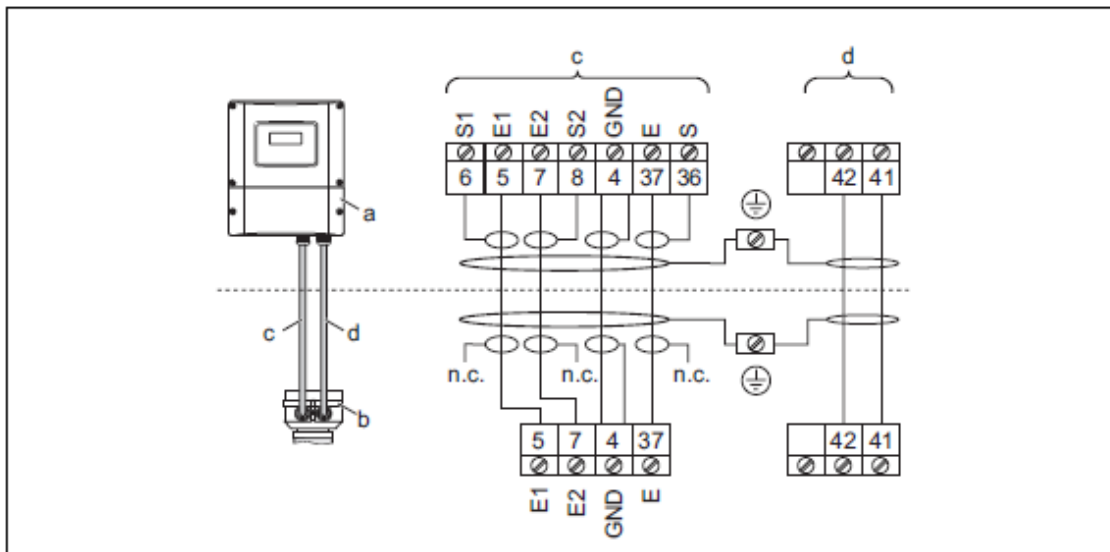


Ilustración 16: Conexión eléctrica del transmisor

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

- a Compartimento de conexiones de la caja de montaje en pared
- b cubierta de la caja de conexiones del sensor
- c Cable de señal
- d Cable de corriente de la bobina
- n.c. Blindajes de cable aislados, sin conectar

Color del cable / Número del terminal:

5/6 = marrón, 7/8 = blanco, 4 = verde, 37/36 = amarillo

Sensor Promag 50L

Promag L es un sensor estándar versátil para la industria de tratamiento de aguas y aguas residuales con un concepto de brida loca para una instalación flexible independiente de la orientación del diámetro primitivo de la brida de la tubería. Combinado con el transmisor Promag 50, Promag 50L ofrece mediciones altamente precisas de caudal de líquidos para una amplia variedad de aplicaciones estándar.

Como ya he explicado con anterioridad, existen dos versiones para la medición de caudales, una versión con el sensor y el transmisor unidos y otra separados.

En este proyecto se ha optado por el uso de transmisor y sensor en un mismo elemento (versión compacta).

CONDICIONES DE INSTALACIÓN

Además de las directivas de instalación comunes para el resto de tecnologías (véase 'Fundamentos teóricos'), los requisitos de instalación particulares para un caudalímetro EMF son los siguientes:

Tramos de entrada y salida

El caudalímetro debe disponer de suficiente tramo recto de tubería, aguas arriba y abajo de la misma.

Si es posible, instálase el sensor lejos de elementos tales como válvulas, piezas en T, codos, etc.

El cumplimiento de los siguientes requisitos para los tramos rectos de entrada y de salida es necesario para asegurar la precisión de la medición.

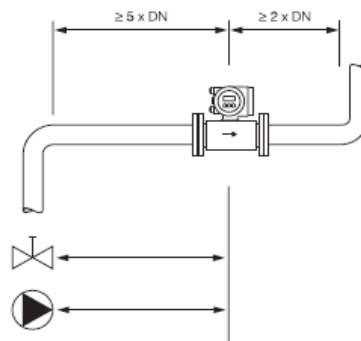


Ilustración 17: Longitudes recomendadas para los tramos rectos

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

- Tramo recto de entrada

$$\geq 5 \times DN$$

- Tramo recto de salida

$$\geq 2 \times DN$$

Si un caudalímetro EMF se instala cerca de algún elemento perturbador del perfil de flujo del caudal, se producirán errores de medición debidos al perfil de flujo perturbado que entra en el contador. Por ello, es conveniente seguir las recomendaciones de instalación en cuanto a dejar suficiente longitud en tramos rectos de tubería aguas arriba y aguas abajo. Las longitudes de tramos rectos recomendadas se miden desde el centro del

caudalímetro. Ello significa que en diámetros pequeños a menudo suele haber longitud suficiente de tramo recto dentro del propio equipo.

Si se emplea la opción Detección de tubería vacía debe tenerse en cuenta la orientación correcta del sensor (véase la figura 17).

El electrodo para la Detección de tubería vacía debe estar en el punto más alto de un EMF instalado en orientación horizontal. Si el EMF debe instalarse en una tubería de orientación horizontal, la caja terminal /del transmisor debe colocarse en la parte superior de la tubería. De este modo, el electrodo DTV se halla en el punto más alto de la tubería y el funcionamiento será el correcto.

En aplicaciones en que sea poco probable que una tubería quede parcialmente vacía, la orientación de los electrodos es indiferente.

CONFIGURACIÓN Y MANTENIMIENTO

En la mayoría de aplicaciones, los caudalímetros de Endress+Hauser, una vez elegidos e instalados, requieren muy poco mantenimiento, ya que se han diseñado sin partes móviles. Sin embargo, según su criticidad en términos de calidad, algunos caudalímetros deben ser inspeccionados y/o calibrados periódicamente.

Inspecciones periódicas para garantizar la fiabilidad de la aplicación

Una vez el caudalímetro ha funcionado durante un intervalo de tiempo prolongado, un usuario podría pensar que precisamente porque la señal de dicho caudalímetro es estable, esta señal debe ser correcta; sin embargo, podría no ser el caso. Incluso una indicación de caudal que aparezca en los límites aceptables puede ser inexacta y afectar consiguientemente a la calidad del producto final.

Inspecciones en la tubería

Sedimentaciones en la tubería pueden causar una pequeña desviación de los valores de medición a la salida del contador que no sean detectados ni rectificadas.

Según el tipo de caudalímetro, cualquier cosa que altere el diámetro o forma del sensor puede ser causa de error en las lecturas. A causa de los efectos de sedimentación o precipitación, puede ser necesaria una limpieza periódica de la tubería donde se halla instalado el caudalímetro.

Calibración

Se recomienda que se efectúe periódicamente una calibración de los puntos de medida que sean críticos para el proceso y, por lo tanto, que resulten importantes para el control de calidad del producto.

Inspección de juntas

En algunos procesos, las necesidades operativas requieren tareas frecuentes de limpieza o esterilización a pie de instalación. En estos casos, deberían elegirse cuidadosamente las juntas de los caudalímetros y sustituirse con frecuencia para evitar riesgos de fugas, contaminación e incluso fallos de proceso.

Mantenimiento periódico

La necesidad del mantenimiento periódico se define según la importancia del caudalímetro en el proceso. Los caudalímetros pueden ser verificados de diversos modos:

- El método de mantenimiento más común parece ser el empleo de equipos eléctricos para una simple comprobación de las funciones de entrada y salida del transmisor.
- Éstas pueden comprobarse mediante un simulador de caudal en campo, lo que permite identificar problemas. El usuario puede llevar a cabo una simulación manual de las funciones del caudalímetro, o una comprobación completa del caudalímetro, o bien únicamente de su electrónica o del sensor. Estos simuladores incluyen procedimientos para la comprobación automática de todas las operaciones electrónicas (linealidad del amplificador, salidas analógicas y frecuencia) por una parte, y todas las operaciones del sensor, por la otra (campo magnéticos e integridad del electrodo de medición).

Mantenimiento correctivo

Cuanto más crucial sea un instrumento para su proceso, más corto debe ser el tiempo para su reparación. Presentan un diseño modular, para poder sustituir la mayoría de las piezas fácilmente, acortándose por tanto el tiempo de reparación.

Reserva de piezas de repuesto

En el caso de que algún instrumento resulte especialmente crítico, debe considerarse la posibilidad de adquirir y tener en provisión un instrumento completamente nuevo.

6.2 MEDICIÓN DE NIVEL

FUNDAMENTOS TEORICOS

En este apartado se da información común para cualquier tipo de equipo de medición de nivel:

Principio del tiempo de retorno (ToF)

Radar, radar guiado e instrumentos de medición de nivel por ultrasonidos son sistemas de medida que “miran hacia abajo” y funcionan conforme al principio de retorno (ToF). La variable medida es la distancia entre el punto de referencia y la superficie del producto. Los pulsos (de microondas o ultrasonidos) emitidos por el instrumento, se dirigen hacia la superficie del producto, se reflejan en la misma y son captados seguidamente por la unidad electrónica de evaluación que los convierte en información sobre el nivel. El cálculo de la distancia entre el equipo y la superficie del producto se realiza mediante la siguiente expresión:

$$D = c \cdot t / 2$$

La distancia D hasta la superficie del producto es proporcional al tiempo de retorno t del impulso, donde c es la velocidad de la luz.

Distancia de bloqueo

El span no debe solaparse con la distancia de bloqueo. Los ecos de nivel procedentes de la distancia de bloqueo no pueden evaluarse debido a las características transitorias del sensor. (Véase figura 18 para más detalles).

¿Por qué existe una distancia de bloqueo?

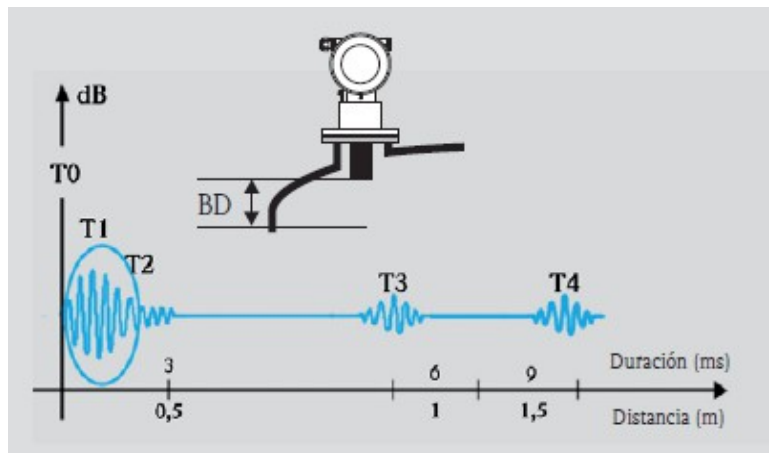


Ilustración 18: Ejemplo de una medición de nivel por ultrasonidos

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

El equipo puede estar emitiendo o recibiendo, pero no puede hacer ambas cosas al mismo tiempo. En caso de que hubiera algún obstáculo en la zona situada entre las posiciones 1 y 2, la señal resultante estaría envuelta por una oscilación residual que no podría diferenciarse. Puesto que el equipo no puede distinguir un eco en esta zona, debe evitarse que el nivel a detectar se aproxime a la membrana. Esta distancia mínima de separación es la distancia de bloqueo (BD).

T0: Inicio del pulso emitido. Una corriente alterna cuya frecuencia corresponde a la resonancia del sistema hace oscilar el cristal.

T1: Fin del pulso emitido. La membrana sigue vibrando durante 1 ms y pasa seguidamente a la posición de recepción.

T2: La vibración residual de la membrana es suficientemente pequeña como para que pueda reflejar un eco y diferenciarlo.

T3: El eco vuelve al cabo de 6 ms lo que indica que la distancia total es de 2 m. Por este motivo, la superficie del producto se halla 1 m por debajo de la sonda.

T4: A veces es posible observar señales de doble reflexión o reflexiones de orden superior.

Curva envolvente

Los instrumentos ToF emiten una sucesión rápida de pulsos individuales y escanean los pulsos reflejados con un retardo fluctuante. Las cantidades de energía emitida se clasifican según el tiempo de retorno correspondiente. La representación gráfica de esta secuencia se conoce como “curva envolvente”.

SISTEMA DE MEDICIÓN

Sistema de nivel por ultrasonidos con FDU90

El sensor Prosonic emite pulsos ultrasónicos dirigidos hacia la superficie del producto. Al incidir los pulsos sobre la superficie, éstos se reflejan y vuelven al sensor. El Prosonic mide el tiempo t que transcurre entre la emisión y la recepción de un pulso. El instrumento utiliza este tiempo t (y la velocidad del sonido c) para calcular la distancia D entre la membrana y la superficie del producto:

$$D = c \cdot t/2$$

Dado que el instrumento conoce la distancia de vacío E indicada por el usuario, puede determinar el nivel a partir de $L = E - D$.

Este sistema será el utilizado en las siguientes partes:

- **Entrada de agua bruta**
- **Salida de agua tratada**

El sistema consta de: transmisor de medida Prosonic FMU90 y el sensor FDU90 correspondiente. Su instalación se realizará en canal abierto o en desagüe de medida.

Nos da una medida puntual del caudal presente en el canal. Dicha señal será tratada por el autómata que realizará una media de las medidas y las pasará a un visualizador.

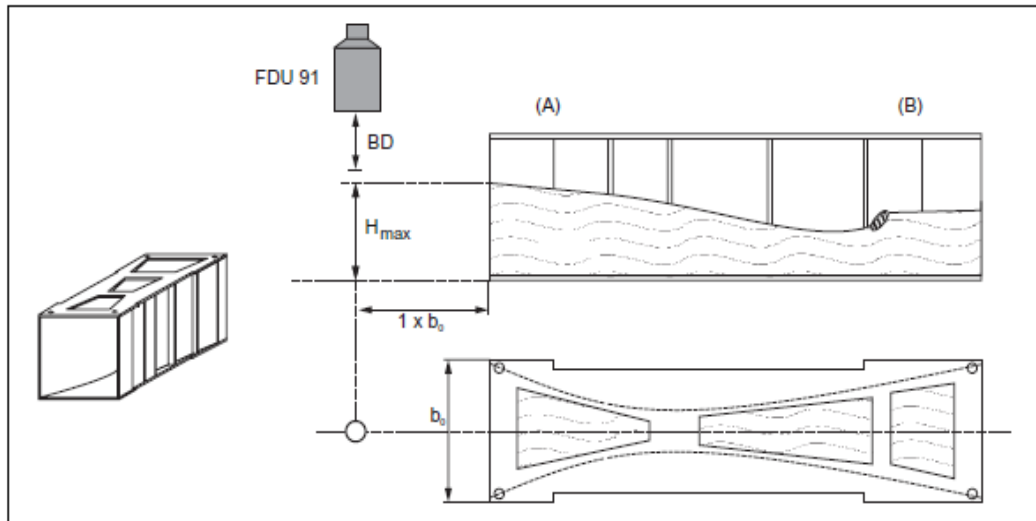


Ilustración 19: Ejemplo: Canales Khafagi- Venturi

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

- **Tanque para la recogida de espumas y grasas y Digestor**

El sistema consta de: transmisor de medida Prosonic FMU90 y el sensor FDU90 correspondiente. Su instalación se realizará en el tanque de recogida de espumas y grasas.

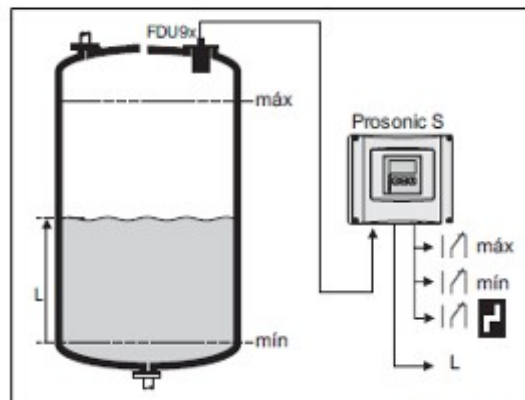


Ilustración 20: Medición de nivel con detección de nivel límite y salida de alarma

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Nos da una medida puntual del caudal presente en el canal. Dicha señal será tratada por el autómata que realizará una media de las medidas y las pasará a un visualizador. Nos dará una alarma por nivel bajo/alto dentro del tanque. Además utilizando las salidas del transmisor, pondremos en marcha los distintos medios de limpieza o recogida que necesitemos

- **Control de Bombas**

El sistema consta de: transmisor de medida Prosonic FMU90 y el sensor FDU90 correspondiente.

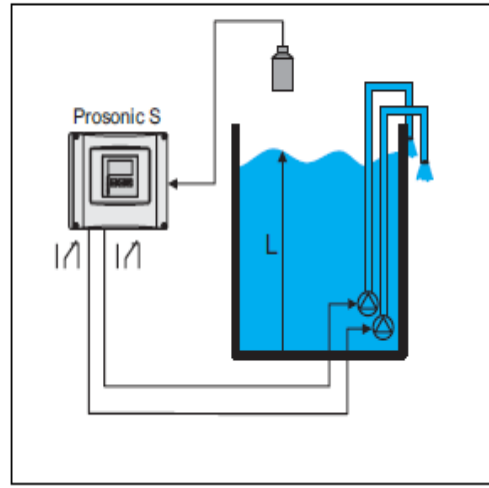


Ilustración 21: Control alterno de bombas (hasta 6 bombas)

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

En este caso se controla el trabajo de las bombas, dependiendo del nivel de agua en cada momento. La señal recibida por el transmisor será procesada y en base a unos valores prefijados, hará que funcionen las bombas de una u otra forma. Esto es fundamental para evitar sobreesfuerzos o trabajo en vacío. Todo este proceso será supervisado por el autómatas.

Sistema de dos canales con medición diferencial.

Este sistema será utilizado en el canal de desbaste, para medir la diferencia presente en el canal antes y después de la reja.

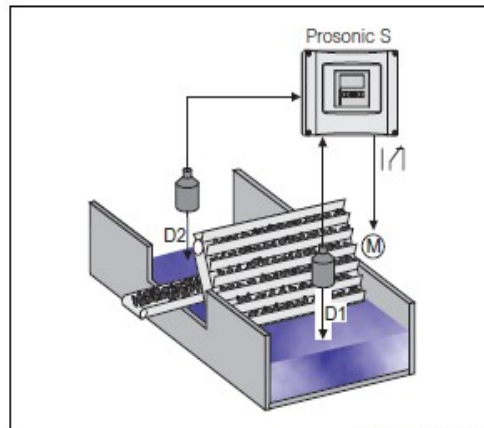


Ilustración 22: Control de rejillas (medición de diferencias)

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Para ello utilizaremos dos sensores FDU90 y un transmisor FMU90. Los captadores miden los niveles D1 y D2 (antes y después de la rejilla). La diferencia de los niveles de agua (D1-D2) se visualizarán en el Prosonic FMU90, el cuál hará actuar al motor de limpieza de las rejillas.

Transmisor Prosonic FMU

Transmisor para montaje en campo para los sensores de ultrasonidos FDU9x.

- Aplicación a la medición de nivel:
 - Medición de nivel continua y no invasiva de fluidos, pastas, lodos y materiales sólidos pulverulentos o granulados con uno o dos sensores de ultrasonidos.
 - Rango de medida hasta 70 m (según el tipo de sensor y material que se mida).
 - Detección de nivel límite (hasta 6 relés).
 - Control de bombas (alterno).
 - Control de filtros y rejillas.
 - Cálculos: promedio, diferencia, suma.

- Aplicación a la medición de caudal:
 - Medición de caudal en canales abiertos y vertederos con uno o dos sensores de ultrasonidos.
 - Medición simultánea de nivel y caudal en canales de rebose para contención de aguas de lluvia con un único sensor.
 - Medición de caudal con detección de remansos (2 sensores) o detección de sedimentos.
 - Posibilidad de configurar hasta 3 totalizadores (no reiniciables) y 3 contadores (reiniciables).
 - Salida de recuento o de impulsos para el control de unidades externas.

Montaje del Prosonic FMU

El montaje del Prosonic FMU se realizará en poste con caja de protección IP66. Presenta una sola unidad de control.

Situaremos la caja de control en un sitio de baja insolación y utilizaremos la visera de protección para intemperie que suministra el fabricante como accesorio.

Conexión eléctrica

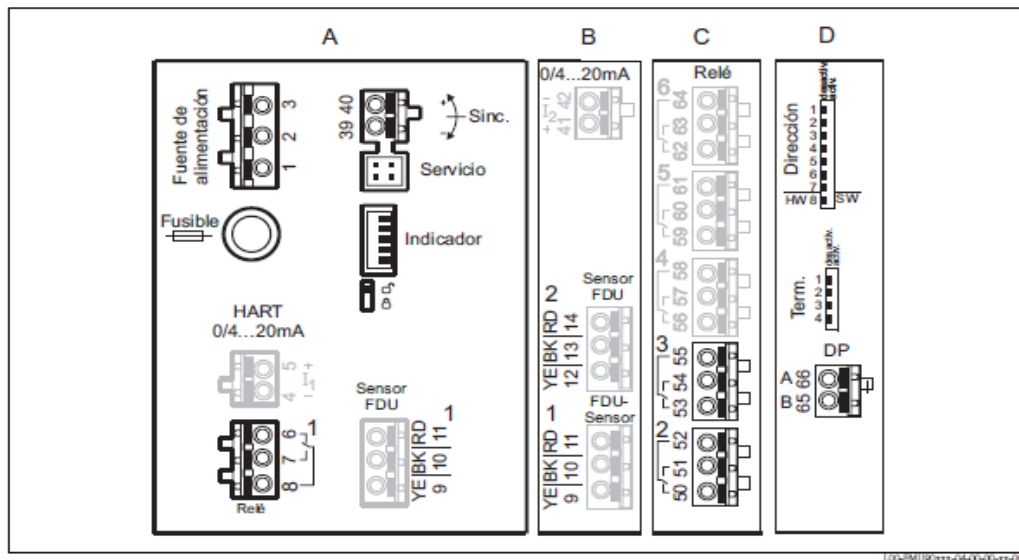
El compartimento de conexiones está provisto para la conexión de los cables de unos bornes de conexión de resorte. Se puede insertar directamente cualquier conductor rígido o flexible que esté dotado con casquillo, estableciéndose así automáticamente el contacto.

Sección transversal del conductor	0,2 mm ² - 2,5 mm ²
Sección transversal del conductor más casquillo	0,25 mm ² - 2,5 mm ²
Longitud mín. de desforrado	10 mm

Tabla 2: Secciones del conductor

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Bornes de Conexión



Bornes de conexión de Prosonic S; los bornes de conexión dibujados en gris no están en todos los modelos.
A: área básica de bornes de conexión; B-D: áreas opcionales de bornes de conexión (están si se ha seleccionado la opción correspondiente en la estructura de pedido del producto)

Ilustración 23: Bornes de Conexión Prosonic S

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Bornes de conexión	Significado	Área de bornes de conexión	Observaciones
Energía auxiliar			
1, 2	Energía auxiliar	A	según el modelo: ■ 90 ... 253 V _{CA} ■ 10,5 ... 32 V _{CC}
3	Compensación de potencial	A	
Salidas analógicas			
4, 5	Salida analógica 1; 4 ... 20 mA con HART/ 0 ... 20 mA sin HART	A	no existe en la versión PROFIBUS DP
41, 42	Salida analógica 2 (opcional); 4...20 mA/ 0...20 mA	B	sólo en el modelo con dos salidas analógicas; esta salida no presenta ninguna señal HART
Salidas de relé			
6, 7, 8	Relé 1	A	
50, 51, 52	Relé 2 (opcional)	C	sólo en los modelos con 3 ó 6 relés
53, 54, 55	Relé 3 (opcional)	C	sólo en los modelos con 3 ó 6 relés
56, 57, 58	Relé 4 (opcional)	C	sólo en el modelo con 6 relés
59, 60, 61	Relé 5 (opcional)	C	sólo en el modelo con 6 relés
62, 63, 64	Relé 6 (opcional)	C	sólo en el modelo con 6 relés
Comunicación por bus			
65, 66	PROFIBUS DP (opcional)	D	sólo en la versión de PROFIBUS DP
Sincronización			
39, 40	Sincronización	A	véase la sección 4.6, "Línea de sincronización"
Entradas de nivel			
9 (YE), 10 (BK), 11 (RD)	Sensor 1 (FDU8x/9x) YE: hilo amarillo BK: hilo negro RD: hilo rojo	■ A: en modelos con 1 entrada de sensor ■ B: en modelos con 2 entradas de sensor ¹	
12 (YE), 13 (BK), 14 (RD)	Sensor 2 (FDU8x/9x) (opcional) YE: hilo amarillo BK: hilo negro RD: hilo rojo	B	sólo en modelos con 2 entradas sensor

Tabla 3: Bornes de conexión Prosonic FMU

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Sensor Prosonic S FDU 9x (FDU91/91F/92/93/95/96)

Sensores de ultrasonidos para medición continua no invasiva de nivel y caudal; para conexión al transmisor FMU90.

Aplicación

- Medición de nivel continua y no invasiva en fluidos, pastas, lechadas y sólidos áridos pulverulentos o granulados
- Medición de caudal en canales abiertos y vertederos
- Rango de medida máximo
 - FDU91/FDU91F:
 - 10 m para fluidos.
 - 5 m para materiales áridos.
 - FDU92:
 - 20 m para fluidos.
 - 10 m para materiales áridos.
 - FDU93:
 - 25 m para fluidos.
 - 15 m para materiales áridos.
 - FDU95:
 - 45 m para materiales áridos.
 - FDU96:
 - 70 m para materiales áridos.
 - Aptos para zonas con riesgo de explosiones.

En nuestro proyecto usamos el sensor Prosonic S FDU90.

Conexión al transmisor

Antes de conectar el sensor, tendremos que desconectar el transmisor de la alimentación. Comprobar si la tensión de alimentación del aparato corresponde a la nominal, indicada en la placa de fábrica.

Los sensores se suministran con un cable (longitud de hasta 30 m, sección 0,75mm²) acoplado a los mismos.

La conexión se realizará a través de una caja de bornes, considerando las normativas al respecto de instalación en zonas detonantes.

Para conectar el sensor y el bloque electrónico utilícese un cable bifilar blindado.

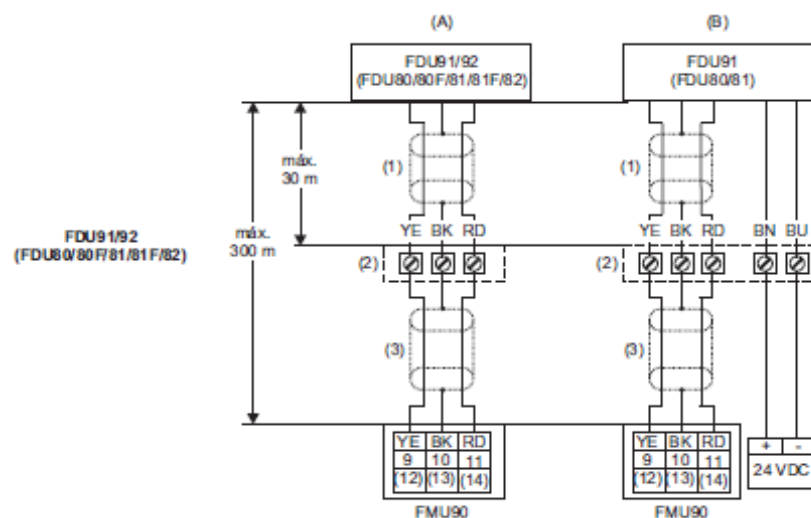


Ilustración 24: Esquema conexionado FDU9x

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

(A): sensor sin calefactor;
 (B): sensor con calefactor;
 (C): toma de tierra en caja de conexiones;
 (D): toma de tierra en el transmisor FMU90;
 (1): blindaje del cable del sensor;
 (2): caja de terminales;
 (3): blindaje de la extensión de cable;
 Colores de los hilos: YE = amarillo; BK = negro; RD = rojo; BU = azul; BN = marrón; GNYE = verde-amarillo

CONDICIONES DE INSTALACIÓN

Dado que la mayoría de problemas suelen ser debidos a una instalación y/o una calibración inicial incorrectas, se recuerdan a continuación los puntos esenciales que deben tenerse en cuenta.

Alineación del equipo instalado conforme al campo eléctrico

Un haz de señal se compone siempre de un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí.

La marca sobre la rosca o brida indica la extensión virtual en sentido horizontal del desacoplamiento de la antena y, por consiguiente, la polarización del campo eléctrico del haz de señal. Se puede optimizar la medida girando la rosca o brida (y por tanto el campo electromagnético). Campo matricial 056 visualiza un valor [dB] que permite sopesar la alineación.



Ilustración 25: Marca sobre la rosca o brida

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

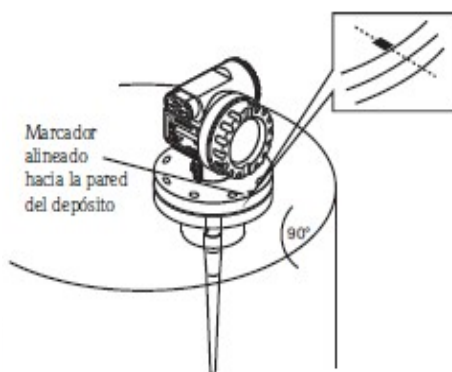


Ilustración 26: Alineación del equipo instalado conforme al campo eléctrico

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

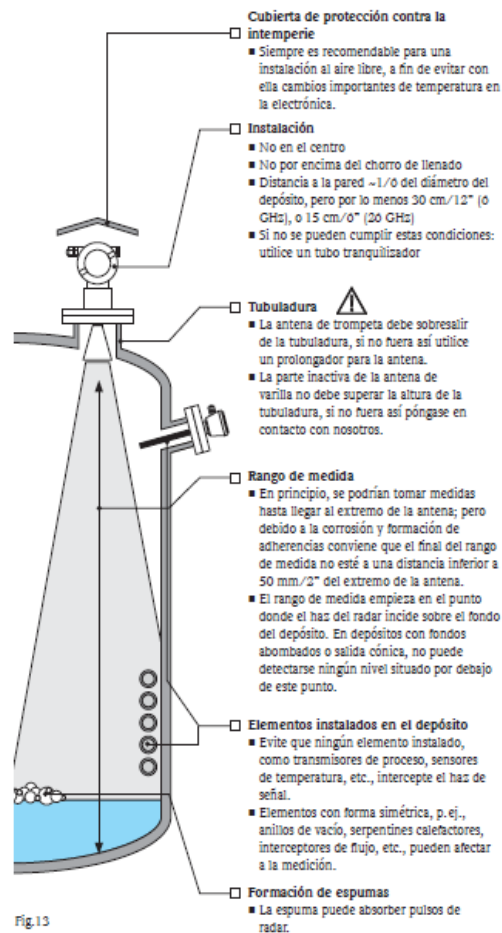


Fig.13

Ilustración 27: Instalación en un depósito

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

CONFIGURACIÓN Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento periódico

Los equipos no incluyen partes mecánicas, por lo que requieren muy poco mantenimiento. Sin embargo, según el nivel de calidad deseado, algunos instrumentos requieren una inspección y/o una calibración periódicas.

Determinar la frecuencia de mantenimiento adecuada teniendo en cuenta los diversos parámetros es una tarea a tener en cuenta.

Para probar el lazo de 4-20 mA:

- La versión a 2 hilos de 4-20 mA con HART incluye tomas para probar la corriente de la señal .
- Las versiones a 4 hilos (Levelflex y Prosonic) tienen para ello 2 terminales en el frente del módulo de la electrónica .

Comprobación de las medidas (todos los equipos)

La configuración del instrumento de medición de nivel suele llevarse a cabo durante la fase de puesta en marcha. En la mayoría de casos, con esto basta, pero en ciertas situaciones, suele ser conveniente efectuar comprobaciones adicionales de las medidas de nivel con el fin de:

- Verificar el valor medido correspondiente al nivel real del depósito.
- Eliminar los falsos ecos que emiten las propias instalaciones en un depósito vacío.

Cuando los instrumentos de medición de nivel deben ser recalibrados tras alguna fase del proceso operativo, para evitar tener que retirar el equipo del proceso, suele calcularse la capacidad de un depósito en litros. Nosotros podemos proporcionarle consejo específico acerca de este método.

Mantenimiento correctivo - Piezas de repuesto

Cuanto más críticos resultan los instrumentos en el proceso, más breve debe ser el tiempo aceptable de interrupción por reparación.

- Gracias al concepto ToF, la mayoría de piezas pueden ser fácilmente sustituidas por el propio usuario (también en zonas con peligro de explosión), lo que permite su rápida reparación: indicador, módulo de la electrónica, antena, ...
- Las etiquetas (TAG) en cada componente permiten una fácil identificación de cada pieza.

En el caso de que algún instrumento resulte especialmente crítico, debe considerarse la posibilidad de adquirir y tener en provisión un instrumento completamente nuevo.

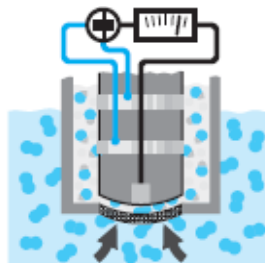
6.3 MEDICIÓN DE OXÍGENO

FUNDAMENTOS TEORICOS

Principio de medida amperométrico

El oxígeno llega al electrodo de trabajo tras atravesar una membrana y se reduce a hidróxido junto al cátodo.

En los medidores amperométricos, el sensor comprende, en la versión más sencilla, dos electrodos, un electrodo de trabajo y un contraelectrodo. Los dos se encuentran sumergidos en un líquido electrolito contenidos en un receptáculo común. Una membrana proporciona el acoplamiento con el producto o proceso: el oxígeno del producto atraviesa por permeación la membrana, entra en el electrolito y se reduce junto al electrodo de trabajo. La amplitud de la corriente generada es directamente proporcional a la presión parcial de oxígeno. La corriente se convierte en el transmisor aguas abajo en información para el usuario expresada en la unidades conocidas de saturación de oxígeno, concentración de oxígeno (en mg/l o ppm) y presión parcial de oxígeno. En los sistemas más sofisticados de tres electrodos, el tercer electrodo (referencia) sirve para controlar y regular el estado interno del sensor. Este sensor presenta una muy alta estabilidad a largo plazo.



El oxígeno entra en el electrolito tras atravesar la membrana y se convierte en una corriente

Ilustración 28: Principio de medida amperométrico

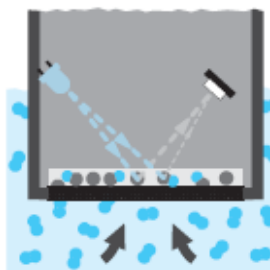
Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Principio de extinción de la fluorescencia (óptico)

Se excitan con luz verde moléculas marcadas y éstas responden con luz de fluorescencia roja. Las moléculas de oxígeno reducen (extinguen) la luz de fluorescencia.

También en el procedimiento por extinción de la fluorescencia, “quenching”, la superficie de separación con el proceso consiste en una capa permeable al oxígeno, en la que se encuentran tantas moléculas de oxígeno como en el producto (la presión parcial de

oxígeno es en el producto idéntica a la existente en la capa). Esta capa está separada por un sustrato transparente de la óptica del sensor. La capa contiene moléculas marcadas que se excitan con luz verde y responden con la emisión de luz de fluorescencia roja. Las moléculas de oxígeno se adaptan a estas moléculas marcadas y reducen (extinguen) la fluorescencia. La disminución de la fluorescencia tanto en intensidad como en duración está relacionada con la presión parcial del oxígeno. La señal lumínica se convierte seguidamente en el transmisor aguas abajo en información para el usuario expresada en unidades conocidas de saturación de oxígeno, concentración (en mg/l o ppm) o presión parcial de oxígeno, como en el caso del sensor amperométrico.



Moléculas de oxígeno se acoplan a las moléculas marcadas y reducen la luz fluorescente emitida.

Ilustración 29: Principio Óptico

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

SISTEMA DE MEDICIÓN

Un sistema completo de medición de oxígeno disuelto comprende:

- Un sensor amperométrico de oxígeno analógico Oxymax COS31.
- Un transmisor Liquisys M COM223/253.
- Un cable de medición especial.
- Un portasondas de inmersión, de flujo o retráctil.

Este sistema será utilizado en las siguientes partes de nuestra E.D.A.R.U:

- **Entrada de agua bruta.**
- **Tanques de aireación.**
- **Tratamiento biológico.**
- **Digestor.**

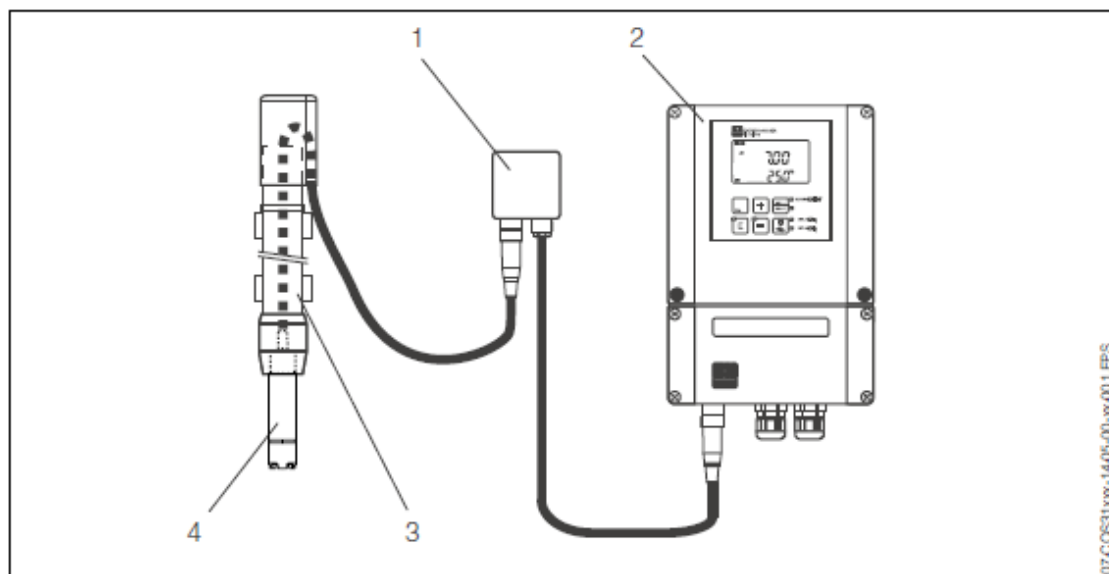


Ilustración 30: Dispositivo de medición completo para COS31 con Liquisys M COM 223

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

- 1 Caja de empalme VS (sólo si se requiere alargó de cable)
- 2 Transmisor Liquisys M COM 223/253-WX/WS
- 3 Grupo para inmersión CYA 611
- 4 Sensor de oxígeno COS 31

Funcionamiento sumergido

Para depósitos grandes, en que se disponga de suficiente distancia de instalación desde el borde del depósito, se recomienda emplear el **grupo de poste saliente y cadena** (Figs. 31 y 32). De este modo, las vibraciones debidas al balanceo libre del grupo sumergido se eliminan casi completamente a partir del poste saliente.

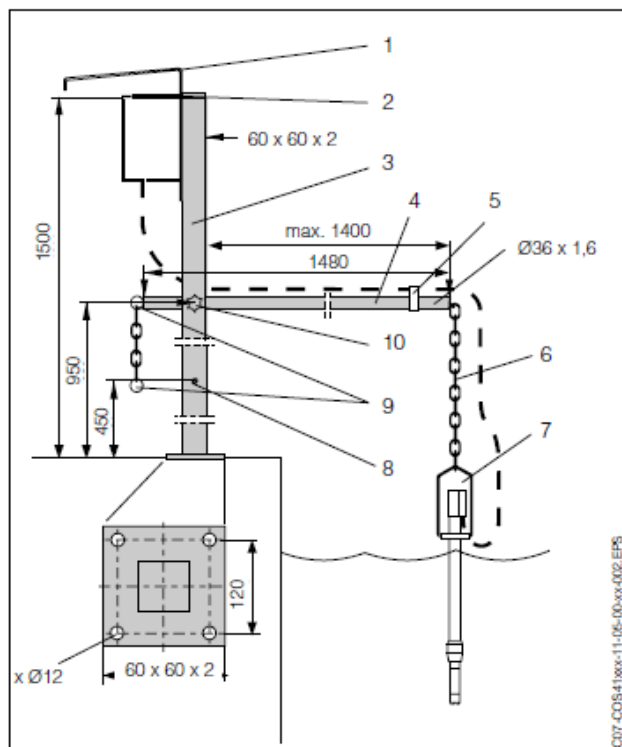


Ilustración 31: Soporte de grupo universal CYH 101-A con grupo sumergible de péndulo CYA 611

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

- 1 Cubierta de protección contra agentes atmosféricos
- 2 Tapón obturador
- 3 Poste saliente de tubería cuadrada de acero inoxidable
- 4 AISI 304
- 5 Tubería transversal de acero inoxidable AISI 304
- 6 Sujeción Velco
- 7 Cadena de plástico, 5 m longitud
- 8 Grupo de inmersión CYA 611 con soporte de suspensión
- 9 (incluido en el equipo de montaje, núm. de pedido 50085874)
- 10 Posibilidad de fijar una segunda tubería transversal
- Grillete de plástico
- Mango de estrella

El tipo de instalación más adecuado para flujos intensos o turbulentos ($> 0,5$ m/s) en el depósito o en los canales abiertos consiste en fijar el dispositivo a un **tubo de inmersión bien sujeto a un poste saliente** (Fig. 31). Si el flujo es muy intenso, se puede instalar una segunda tubería transversal con su propio soporte.

Un modo sencillo de sujetar el tubo de inmersión a los bordes del depósito o canal consiste en emplear una **montura para el borde del depósito** (véase la Fig 32).

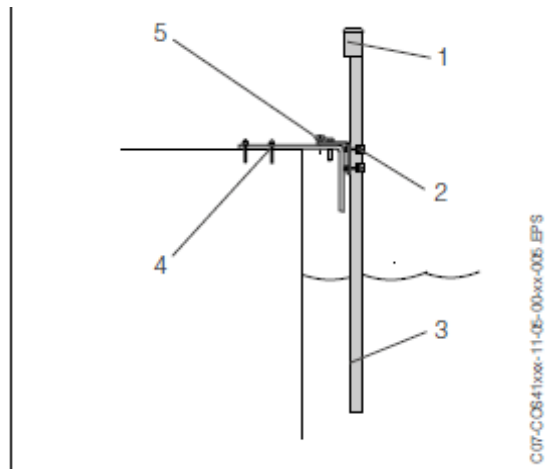


Ilustración 32: Montura para el borde del depósito en horizontal con tubo de inmersión

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

1	Recubrimiento para entrada de cable	4	Montura para el borde del depósito
2	Escuadra de sujeción de la tubería	5	Mango de estrella
3	Tubo de inmersión SS 304		

Transmisor Liquisys M COM223

Transmisor para oxígeno disuelto.

El Liquisys M es un transmisor para determinar la concentración de oxígeno en un producto líquido.

El transmisor ha sido diseñado especialmente para siguientes los ámbitos de aplicación:

- Plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Tratamiento de aguas residuales.
- Aguas de consumo.
- Control y depuración de agua.
- Aguas de la superficie (ríos, lagos, océanos).
- Piscicultura.

Aplicación

El diseño modular del transmisor permite una fácil adaptación a una variedad de necesidades de los clientes. A partir de la versión básica de "medición y generación de alarmas", el transmisor puede ser equipado con software adicional y módulos de hardware para aplicaciones especiales. Estos módulos también se pueden adaptar según sea necesario.

Características de la versión básica

Medición del contenido de oxígeno y de la presión parcial de oxígeno.

El contenido de oxígeno se muestra en mg/l o en % SAT , se muestra la presión parcial de oxígeno en hPa. Esto se selecciona a través del menú. La temperatura se visualiza al mismo tiempo.

Montaje del transmisor Liquisys M

Existen varias opciones para la sujeción de la carcasa del instrumento:

- Montaje en pared con tornillos de fijación.
- Montaje en tubería cilíndrica.
- Montaje en columna de sección cuadrada.

En nuestro caso el montaje se va a realizar en pared o en tubería cilíndrica.

En caso necesario se puede fijar el equipo de campo a una barra universal de sección cuadrada junto con una cubierta de protección contra intemperie.

Conexión eléctrica del Liquisys M

El diagrama de conexionado representado en la figura 33 ilustra las conexiones del transmisor considerando todas las opciones.

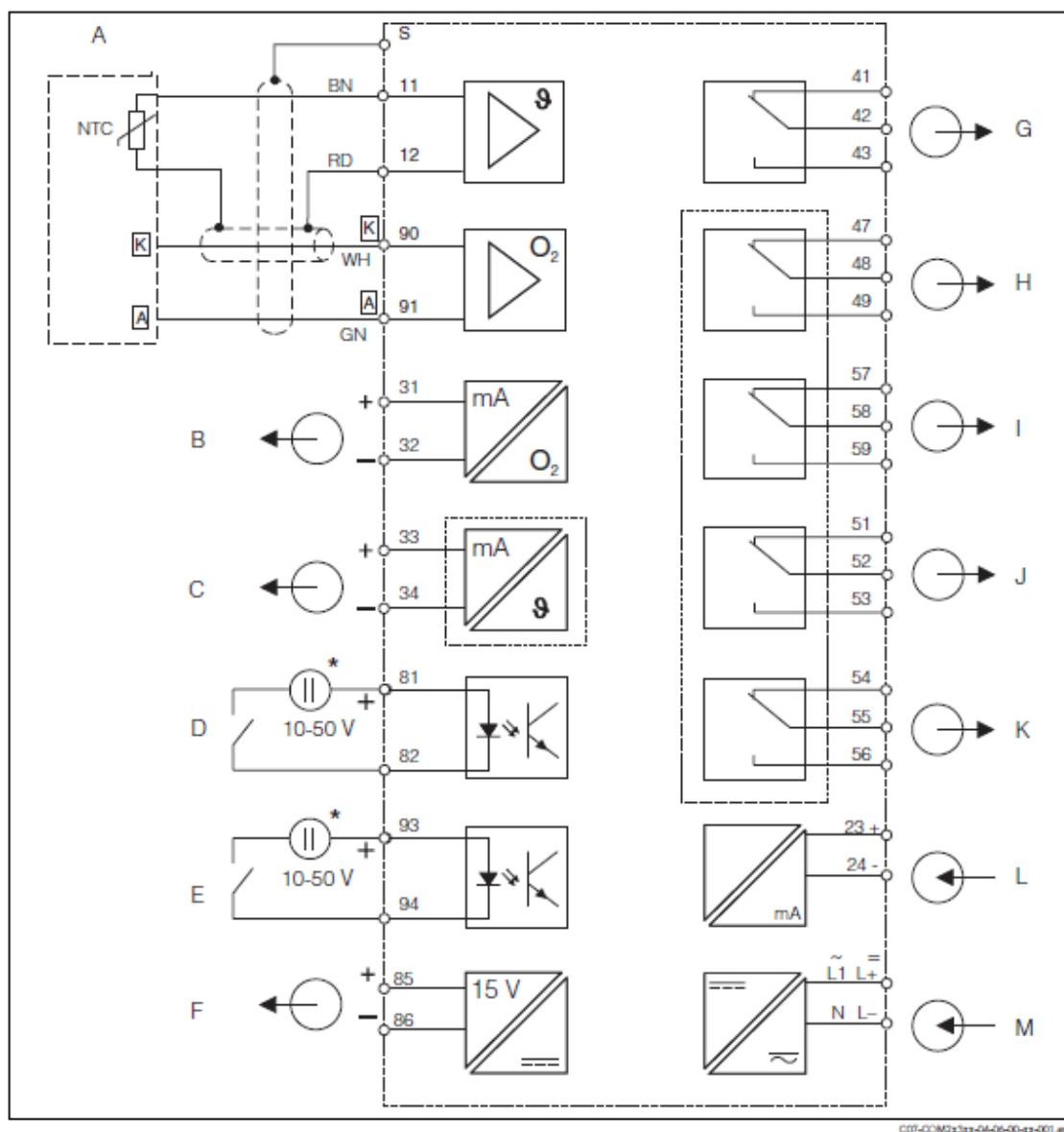


Ilustración 33: Conexiones eléctricas del transmisor en las versiones DX o DS

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

A	Sensor de oxígeno COS41	G	Alarma (posición de contacto sin corriente)
B	Salida de señales 1 oxígeno	H	Relé 1 (posición de contacto sin corriente)
C	Salida de señales 2 temperatura/regulador	I	Relé 2 (posición de contacto sin corriente)
D	Entrada binaria 1 (Hold)	J	Relé 3 (posición de contacto sin corriente)
E	Entrada binaria 2 (Chemoclean)	K	Relé 4 (posición de contacto sin corriente)
F	Salida de tensión aux.	L	Entrada de corriente 4...20 mA
		M	Fuente alimentación

* salida de tensión auxiliar aplicable a terminales 85/86

Sensor Oxymax COS 31

Sensor analógico para la medición de Oxígeno mediante el principio de medición amperométrico. El sensor consta de:

- El cuerpo con la electrónica integrada.
- El cabezal con cátodo de oro, ánodo y electrodo de referencia.
- La capucha con el electrolito.
- La rejilla de protección.

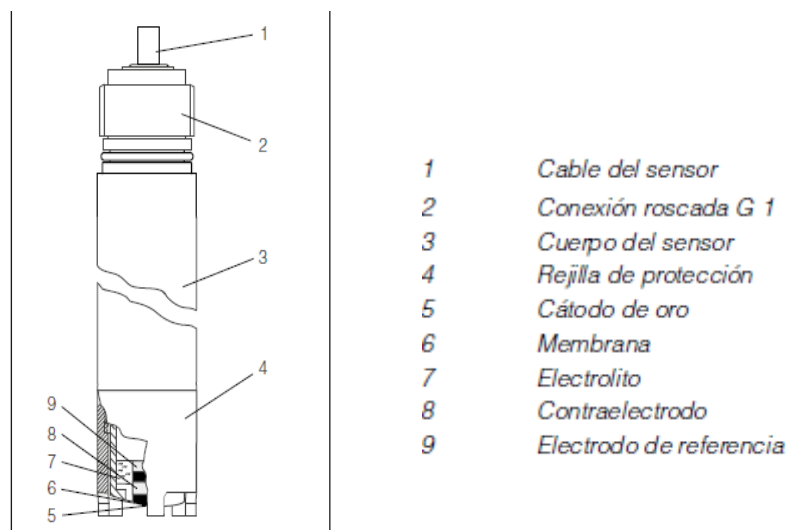


Ilustración 34: Diseño del sensor COS 31

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Conexión al transmisor

El sensor COS 31 se conecta al transmisor mediante un cable de medición especial con cabezal conector SXP.

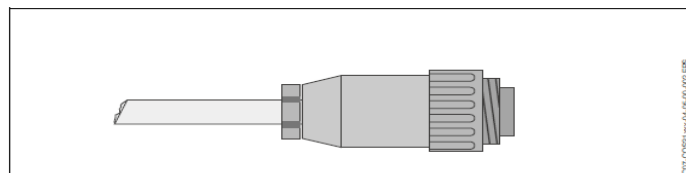


Ilustración 35: Cabezal Conector SXP

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

CONFIGURACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las tareas de mantenimiento incluyen:

- Limpieza del portasondas y del sensor.
- Verificación del cable y las conexiones.
- Calibración y ajustes.

Limpieza del sensor

Para garantizar una medición fiable, hay que limpiar regularmente el sensor. Según el tipo de suciedad, procédase como se especifica a continuación:

- Deposiciones salinas

Sumerja el sensor en agua potable o en ácido clorhídrico 1-5% durante algunos minutos. A continuación, enjuáguelo con agua abundante.

- Motas de suciedad en el cuerpo del sensor (no en la membrana)

Limpie el cuerpo del sensor con agua y un cepillo apropiado.

- Motas de suciedad en el cabezal o membrana

Lave la membrana con agua y una esponja suave.

A continuación, enjuague el sensor con agua abundante.

Limpieza de la óptica

Los elementos ópticos únicamente tienen que limpiarse si el producto ha entrado en el cabezal de fluorescencia por ser éste defectuoso.

Para su limpieza hay que proceder del modo siguiente:

1. Desenrosque el protector y el cabezal de fluorescencia para separarlos de la cabeza del sensor.
2. Limpie cuidadosamente la superficie óptica con un paño suave hasta eliminar todas las deposiciones.
3. Limpie la óptica con agua potable o agua desmineralizada.

4. Limpie la óptica y enrosque un nuevo cabezal de fluorescencia.

Calibración y ajuste de sistemas ópticos

La calibración es un modo de adaptar el transmisor a los valores característicos del sensor. Normalmente, no hace falta casi nunca calibrar el sensor.

Sin embargo, resulta necesario tras cambiar el cabezal de fluorescencia.

La pendiente de la curva de calibración del sensor de oxígeno COS61 se obtendrá en aire o en agua saturada de aire.

La calibración del punto cero se llevará a cabo en nitrógeno o en agua libre de oxígeno (agua enriquecida con una solución cero).

El sensor identifica sin asistencia la calibración de la pendiente (75 a 140% SAT) y la calibración del punto cero (0 a 10% SAT).

No hay que hacer nada más.

Intervalos de mantenimiento

- Semanal: limpieza del sensor.
- Anual: cambio de cabezal del sensor, junta tórica y calibración en aire

6.4 MEDICIÓN DE PH

FUNDAMENTOS TEORICOS

El valor de PH se utiliza como unidad de medida de la acidez o alcalinidad de un líquido.

Principio de medida potenciométrico.

Este principio se basa en una membrana de vidrio sensible al pH sobre la que se depositan iones de hidrógeno, lo que da lugar a la generación de un potencial eléctrico.

El procedimiento que se utiliza en la medición de pH con electrodos de vidrio es un procedimiento de medida potenciométrico. Al ser el vidrio un aislante eléctrico, se necesitan transmisores de impedancia de entrada muy alta para que trabajen bien con las señales del electrodo de medida de pH. El efecto medidor se basa en una membrana de vidrio sensible al pH, cuya superficie reacciona frente a contenidos de ácido en la solución generando una tensión determinada. A continuación se mide este voltaje con respecto a un elemento de referencia de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl), que permanece constante.

Principio de medida por selectividad iónica.

El ISFET consiste en un transistor sencillo separado de la puerta (gate) por un aislador. Sobre éste puede producirse una acumulación de iones de hidrógeno.

El valor del PH puede medirse también mediante un transistor ISFET (de efecto campo) selectivo de iones. Se trata de hecho de un transistor sencillo que comprende una fuente y un drenador separados de la base por un semiconductor. Sobre éste se acumulan los iones de hidrógeno del medio a medir. La carga positiva que se induce a consecuencia de ello en el lado externo origina una “imagen especular” en el lado interno, induciéndose allí carga negativa. Esto transforma el canal semiconductor en conductor. Cuanto menor es el valor de PH del líquido, tanto mayor es la cantidad de iones de H^+ que se depositan sobre la base y tanto mayor es la corriente que se genera y se mide entre fuente y drenador. La acumulación de protones es un efecto puramente electrostático. Por consiguiente, el material del sensor no sufre ningún cambio y no resulta por tanto necesario realizar tantas recalibraciones como con los electrodos de vidrio. Al no presentar ninguna capa fuente, los electrodos ISFET resultan también muy apropiados para mediciones de PH en medios con poco agua.

SISTEMA DE MEDICIÓN

Un sistema de medición completo comprende:

- Un electrodo de PH CPS11
- Un transmisor, p. ej., el Liquiline M CM42
- Cable de medición especial, p. ej., el cable CPK1
- Portasondas de inmersión, de flujo continuo o retraíble, p. ej., Cleanfit P CPA472

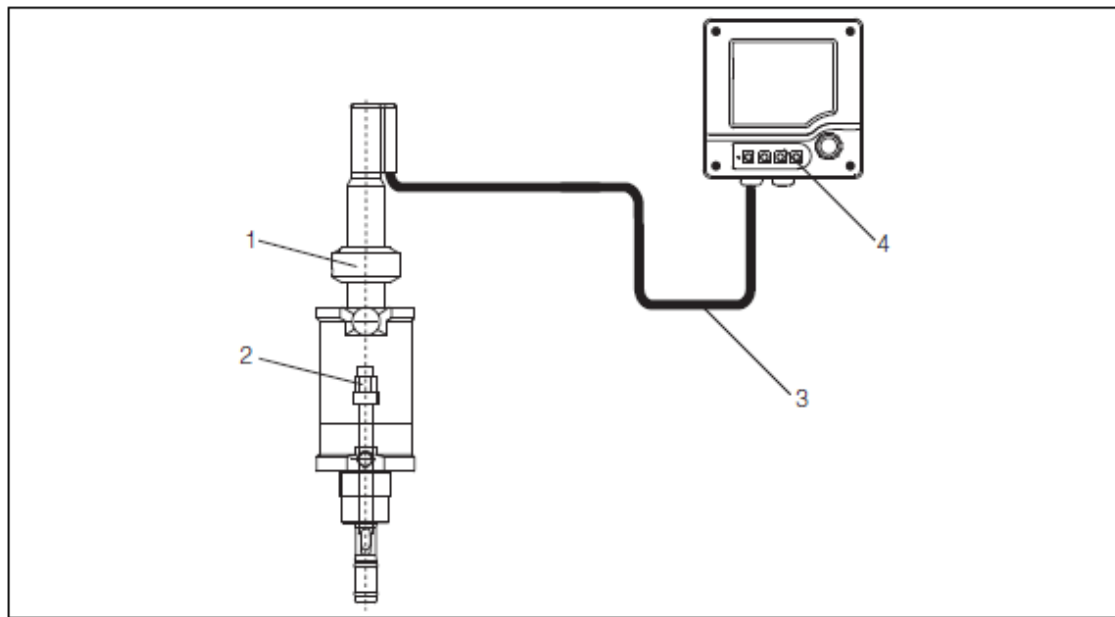


Ilustración 36: Sistema de medición para medir el PH

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

- 1 Portasondas retraíble Cleanfit P CPA472*
- 2 Electrodo de pH CPS11 / CPS11 D*
- 3 Cable de medición especial CPK0 para electrodos con cabeza intercambiable TOP68 / CYK10 para sensores digitales*
- 4 Transmisor Liquiline M CM42*

Estas mediciones se realizaran en:

- **Entrada de agua bruta.**
- **Tratamiento biológico.**
- **Salida de agua tratada.**
- **Digestor.**

Transmisor Liquiline M CM42

Aplicaciones

El Liquiline M CM42 es un transmisor modular a dos hilos que puede utilizarse en cualquier aplicación de la ingeniería de procesos.

Según la versión pedida, presenta una o dos salidas analógicas de corriente o puede conectarse con buses de campo como el Fieldbus FOUNDATION, el PROFIBUS PA y protocolo Hart.

El Liquiline satisface las normas de seguridad internacionales IEC 61508.

Están disponibles dos versiones: la versión de plástico, que es resistente a la corrosión y muy robusta, y la versión sanitaria de acero inoxidable. Liquiline ha sido diseñado para las siguientes aplicaciones:

- Procesos químicos.
- Industria farmacéutica.
- Alimentación.
- Aplicaciones en zonas clasificadas.

Ventajas

- Ahorro:
 - Puesta en marcha sencilla mediante Configuración Rápida y Navegador (botón multifuncional).
 - Gracias a la tecnología Memosens, no requiere ninguna calibración en planta.
 - El sistema de mantenimiento previsor detecta cuando ha de limpiarse, calibrarse o sustituirse un sensor.
 - Reducción de stocks gracias al diseño modular.
- Seguridad:
 - Un fotodiodo rojo de alarma señala inmediatamente los errores.

- Puesta en marcha guiada mediante pantalla gráfica y textos claros y sencillos.
- Puesta en marcha y calibración protegidas por codificación.
- Soluciones industriales:
 - Concepto modular: módulo sensor intercambiable.
 - Gestión de activos (Fieldcare, W@M).

Montaje del transmisor Liquiline M CM42

Existen varias opciones para la sujeción de la carcasa del instrumento:

- Montaje en pared con tornillos de fijación (con cubierta de intemperie en el caso de que fuera necesario).
- Montaje en tubería cilíndrica o barra de sección cuadrada.
- Montaje en panel.

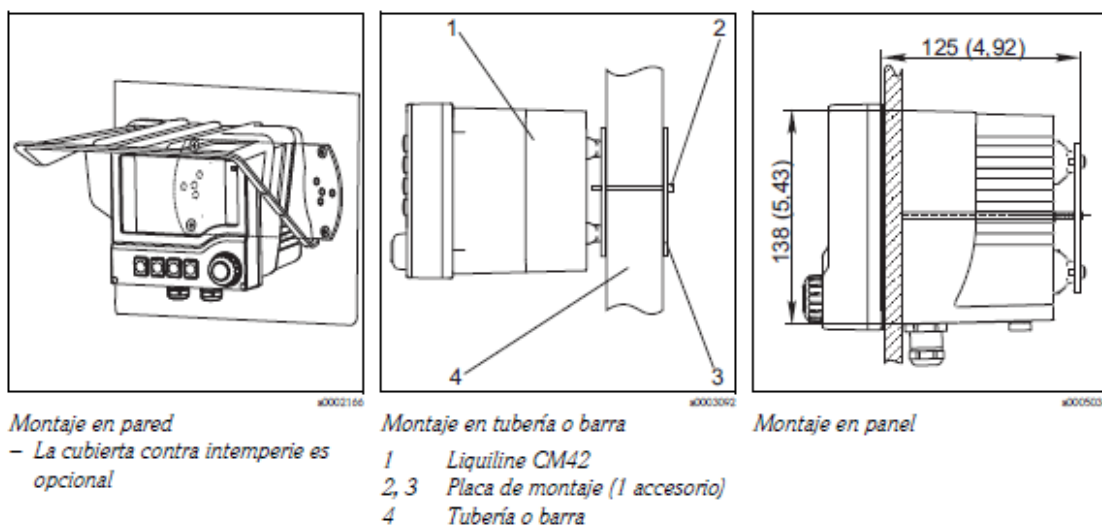


Ilustración 37: Por orden, montaje en pared, en tubería o en panel

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

En nuestro caso el montaje se va a realizar en pared o en tubería cilíndrica.

En caso necesario se puede fijar el equipo de campo a una barra universal de sección cuadrada junto con una cubierta de protección contra intemperie.

Conexión eléctrica

Se debe utilizar un cable a dos hilos con blindaje en los dos extremos.

Especificaciones del cable

Sección transversal máx. del cable: 2,5 mm² (i14 AWG), tierra 4 mm²

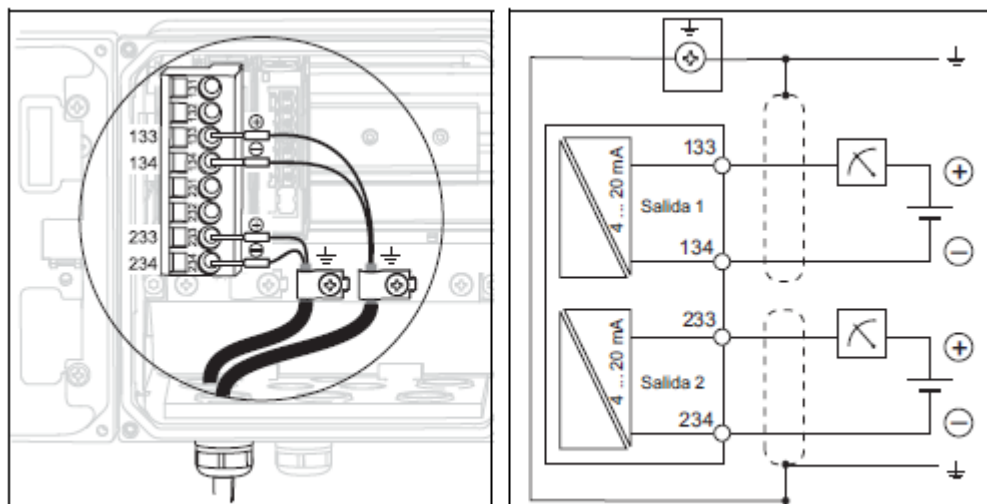


Ilustración 38: Vista del interior del equipo y diagrama de conexiones

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Sensor Orbisint CPS11

Sensor de PH analógico para aplicaciones estándar en procesos y tecnología ambiental, con diafragma de PTFE repelente a la suciedad, con sensor de temperatura integrado. Utiliza el principio de medida potenciométrico.

Aplicaciones

- Monitorización a largo plazo y monitorización de límites en procesos con condiciones estables:
 - Industria de pasta y papel.
 - Química de plásticos.
 - Procesos químicos.
 - Centrales de energía (p. ej., depuradores de gases de combustión).

- Plantas de incineración.
- Industria alimentaria.
- Fábricas de cerveza.
- Tratamiento de aguas:
 - Agua potable.
 - Aguas de refrigeración.
 - Agua de pozos.

Con homologación ATEX, FM y CSA para aplicación en zonas con peligro de explosión.



*Ilustración 39: Sensor
Orbisint*

Fuente:
<http://www.es.endress.com/>

Ventajas

Electrodo robusto que requiere bajo mantenimiento gracias a su gran diafragma anular de politetrafluoetileno (PTFE) anti-suciedad.

- Certificado de biocompatibilidad.
- Tiempo de vida útil prolongado gracias al sistema de referencia de unión doble, que alarga el recorrido de difusión en el electrodo por contaminación.
- Disponible vidrio para dispositivos de proceso para uso en aplicaciones fuertemente alcalinas.

- Aplicación bajo presiones de hasta 16 bar (232 psi).
- Seguridad de proceso máxima gracias a la transmisión de señal inductiva sin contacto.
- Manejo fácil gracias al almacenamiento de los datos específicos de sensor.

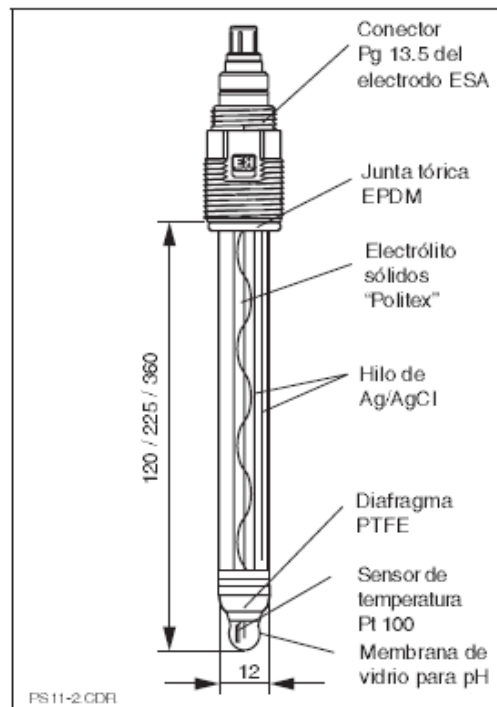


Ilustración 40: Diseño del sensor Orbisint CPS11

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Conexión al transmisor

Antes de conectar el sensor, tendremos que desconectar el transmisor de la alimentación. Comprobar si la tensión de alimentación del aparato corresponde a la nominal, indicada en la placa de fábrica.

Los sensores se suministran con un cable (longitud de hasta 30 m, sección 0,75mm²) acoplado a los mismos.

La conexión se realizará a través de una caja de bornes, considerando las normativas al respecto de instalación en zonas detonantes.

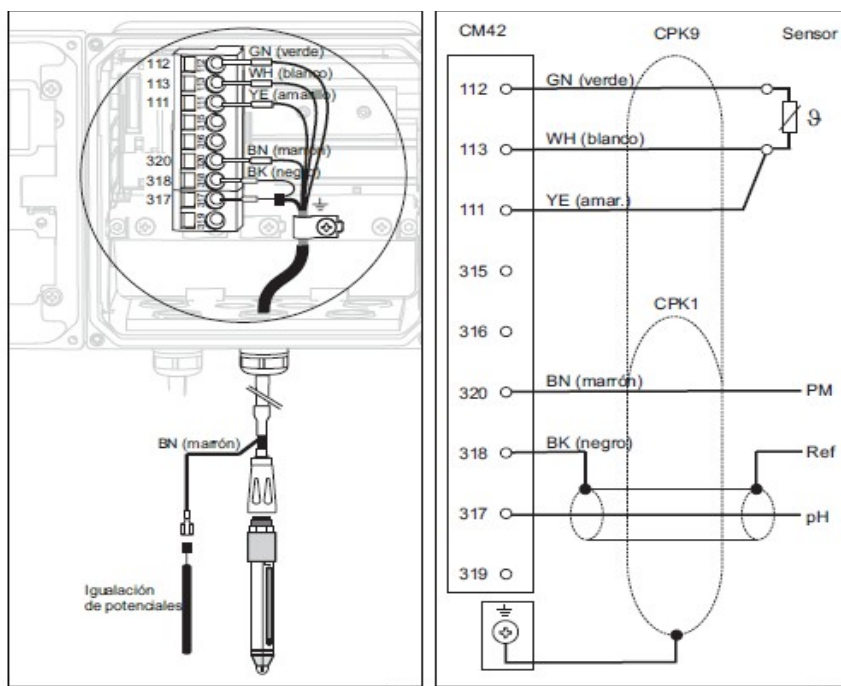


Ilustración 41: Vista del interior del equipo y diagrama de conexión

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Para la conexión al transmisor usaremos un cable CPK1 para electrodos de medición de PH con cabeza intercambiable GSA.

CONDICIONES DE INSTALACIÓN

El electrodo no debe instalarse nunca cabeza abajo.

El ángulo de inclinación debe ser como mínimo 15° respecto a la horizontal. Un ángulo de inclinación más pequeño no es admisible ya que se forman bolsas de aire en el interior del electrodo. Ello puede perjudicar el contacto entre el electrodo de referencia y el electrodo de medida.

Cableado

- El cable no debe tener una longitud superior a 50 m
- El cableado no debe tener interrupciones (evítense conexiones temporales). Si se necesitan extensiones de cable, empléense cajas de conexiones de alta impedancia.

Conexión

La conexión de los sensores analógicos de pH puede realizarse tanto simétrica como asimétricamente.

Ventajas de la medición simétrica:

- No hay corrientes de fuga de líquido, puesto que el electrodo de referencia y el de pH/redox están conectados con una resistencia elevada.
- Medición sin riesgo bajo condiciones de proceso duras (caudal grande y productos que ofrecen alta resistencia, membrana parcialmente sucia).

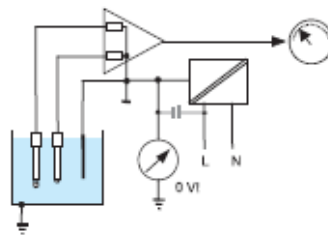


Ilustración 42: Conexión simétrica

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Ventajas de la medición asimétrica:

- Es posible utilizar portasondas sin igualación de potenciales.

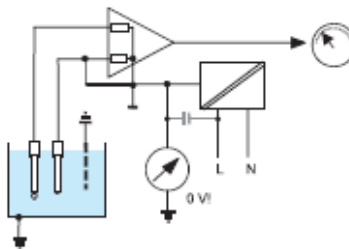


Ilustración 43: Conexión asimétrica

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

CONFIGURACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para asegurar la transmisión de los valores medidos de forma segura desde sistemas acoplados por conector metálico, se utilizan siempre cables de medida doblemente apantallados para la protección preventiva contra interferencias electromagnéticas. Con la

tecnología Memosens, los datos del sensor se digitalizan directamente en el sensor y transmitidos por un cable de bus estándar de baja impedancia.

Es sobre todo en la medición del pH donde pueden apreciarse al máximo las ventajas que ofrece la tecnología Memosens. Con ella desaparecen totalmente los problemas que presentaba la humedad. Además de ofrecer seguridad en la transmisión, permite detectar por primera vez una rotura de cable u otra interrupción en la señal de medida de una forma rápida.

Esto implica evidentemente la reducción de tiempos no productivos en el proceso.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento del transmisor comprende las tareas siguientes:

- Limpieza del portasondas y del sensor.
- Verificación del cable y las conexiones.
- Calibración y ajuste.

Limpieza de los electrodos de medición de pH

Existen cinco niveles de limpieza:

- Nivel 1: utilice agua y esponja
- Nivel 2: utilice agua y jabón (presencia de grasa)
- Nivel 3 (únicamente redox): limpie cuidadosamente las patillas o las superficies metálicas por medios mecánicos (pulido bajo el agua con papel de lija muy fino).
- Nivel 4: utilice una solución de ácido clorhídrico HCl (del 3 al 5%) y enjuague con agua limpia.

Una vez finalizada la limpieza química, es posible que el sensor de redox requiera un periodo de estabilización de algunas horas. Por este motivo, es conveniente comprobar la calibración del equipo al día siguiente.

- Nivel 5: utilice productos específicos para limpiar los diversos contaminantes (véase la lista siguiente)
- Películas oleosas y grasas:

Limpie con detergente y agua o con cualquier solvente de grasas como el alcohol o la acetona.

- Capas de material inorgánico:

Sumerja el electrodo durante 15 min en una solución de ácido clorhídrico o sosa (máx. 5%).

- Capas de lodos e hidróxidos metálicos:

Disuelva las capas con una solución de ácido clorhídrico o ácido cítrico (máx. 10%).

- Capas de sulfuros contaminantes:

Use una mezcla de ácido clorhídrico (máx. 10%) saturado con urea.

- Capas de proteínas contaminantes:

Sumerja el electrodo en una mezcla de ácido clorhídrico (máx 10%) saturado con pepsina (8500 unidades) a 37°C/98,6°F.

Comprobación del cableado y conexionado

- Compruébese que los cables y las conexiones están libres de humedad, cortes y nudos.
- Compruébese la continuidad eléctrica: provoque un cortocircuito entre los dos hilos de un extremo del cable (por ejemplo, entre 'Medición' y 'Ref.').
Mida la resistencia en el otro extremo (debe ser igual a 0,1 Ω /m).
- Detección de fallo en el aislamiento: desconecte el cable por los dos extremos y mida la impedancia entre los hilos mediante un medidor de aislamientos que mida a 1000 V (R debe ser igual a ∞).

Calibración de sistemas analógicos

Utilice la tecla CAL para acceder al grupo de funciones de calibración.

Utilice este grupo de funciones para calibrar el sensor. Para calibrar el sensor, elija uno de los siguientes procedimientos:

- Tomar medidas en dos soluciones tampón del pH con valor de pH conocido.

- Introducir los valores de ajuste de la pendiente y del punto cero.
- Introducir un valor de offset.
- En el caso de medición del potencial redox, introducir el valor en mV o dos valores distintos en %.

Ajuste del electrodo de medición del pH

1) Limpie el electrodo con agua (o un producto específico).

2) Sumerja primero el electrodo en una solución tampón de pH 7.

- En caso de compensación automática de temperatura, el sensor de temperatura debe hallarse totalmente sumergido en el producto.
- En el caso de una conexión simétrica, habrá que asegurarse siempre de que la línea de igualación de potenciales esté conectada y que la patilla de conexión esté sumergida en el producto.
- Deberá introducirse un valor para la solución tampón del pH en el transmisor (a la temperatura ambiente).
- El electrodo deberá permanecer sumergido durante unos segundos antes de que la medición sea validada por el usuario.
- Enjuague el bulbo de vidrio con agua limpia (sin frotar: ¡podrían generarse cargas electrostáticas!).

3) Sumerja el electrodo en la segunda solución tampón del pH (pH 4, 9, etc.) y repita el proceso desde el paso 2.

4) Enjuague el electrodo con agua limpia.

Comprobar la pendiente tras la calibración de un electrodo de pH

La pendiente teórica es de 59,16 mV/pH. A la práctica, la pendiente de un electrodo nuevo está entre 57 y 60 mV/pH.

- Si la pendiente es ≤ 55 mV/pH, es preciso limpiar el electrodo.
- Si la pendiente es ≤ 50 mV/pH, es preciso comprobar el funcionamiento del electrodo, y sustituirlo, en caso de que sea necesario.

- Si la pendiente es ≤ 45 mV/pH, el transmisor muestra un mensaje de error: el electrodo debe ser reemplazado

6.5 MEDICIÓN DE TURBIDEZ

FUNDAMENTOS TEORICOS

Principio de medida optoelectrónico

Un haz de luz atraviesa el medio y se refleja al incidir en las partículas no disueltas. Podemos distinguir dos tipos de procedimiento en función de la forma de realizar esta medición.

Principio de medida de luz dispersada

Con el principio de medida de luz dispersada a 90° , que se realiza conforme a la norma ISO 7027/EN 27027, se obtienen valores de turbidez bajo condiciones estandarizadas y comparables. El principio de medida de luz dispersada a 135° está optimizado para la medición de turbidez de valor elevado. El haz de luz emitido es dispersado por las partículas de materia sólida del producto. Esta luz dispersada se mide mediante detectores de luz. La turbidez del producto se determina a partir de la luz dispersa detectada. Además de la señal de la turbidez, se obtiene y transmite una señal de temperatura. Las funciones de filtrado digital, que incluyen la supresión de señales interferentes y la automonitorización del sensor, proporcionan seguridad adicional a la medición.

Procedimiento de 4 haces de luz pulsado

Este procedimiento se basa en dos fuentes de luz y cuatro detectores de luz. Como fuentes de luz monocromáticas se utilizan fotodiodos de larga duración. Para eliminar la influencia de cualquier luz extraña, los fotodiodos trabajan en un régimen de pulsos a una frecuencia de varios kHz. Con cada señal de luz se detectan dos señales de medida con cada uno de los cuatro detectores de luz. Las ocho señales de medida obtenidas en total se procesan en el sensor y convierten en información sobre la concentración de materia sólida. El

procedimiento de cuatro haces de luz pulsado permite compensar también los efectos de suciedad, como los debidos al envejecimiento de los componentes ópticos.

Medición ultrasónica

El procedimiento por ultrasonidos utiliza un cristal piezoeléctrico encerrado en un cuerpo de plástico cilíndrico con caras planas. Al excitar el cristal con una tensión eléctrica, se genera una señal ultrasónica. Las ondas de ultrasonidos generadas se dirigen hacia las zonas de separación a explorar. La variable medida es el tiempo que requiere la señal ultrasónica emitida para llegar hasta las partículas de la zona de separación y volver al receptor.

Factores que influyen en la medición de la turbidez

Los factores siguientes pueden alterar la medición:

- Cambio del tipo de fangos residuales.
- Variación del caudal.
- Presencia de burbujas de aire o espuma, sedimentación de partículas en suspensión.
- Retrodispersión (que incrementa la señal) debida a la posición de instalación del sensor en la tubería o muy cerca de alguna pared.
- Deposición en la óptica del sensores.

SISTEMA DE MEDICIÓN

Un sistema de medición de turbidez completo incluye:

- Sensor analógico de turbidez (Turbimax W CUS 41) con cable de medición especial.
- Transmisor Liquiline CM442.
- Portasondas.

Donde

- **Tratamiento biológico.**

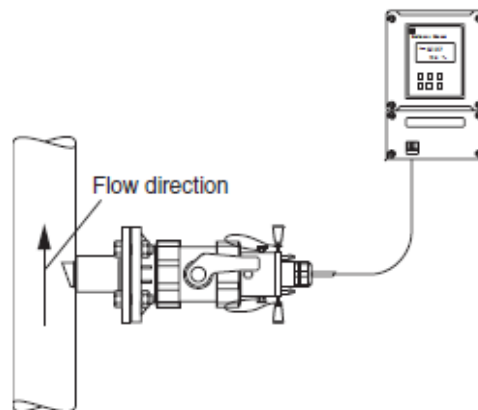


Ilustración 44: Sistema de medición con Turbimax y Liquiline

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Sensor Turbimax CUS41

Sensor para la medición de sólidos en suspensión para aplicaciones en aguas residuales. Basado en la tecnología multicanal, utiliza el principio de medida de luz dispersada a 90°.



Ilustración 45: Sensor Turbimax CUS41

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Aplicaciones

La medición óptima de los sólidos disueltos es indispensable para poder regular adecuadamente las operaciones en estas áreas:

- Plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Papel.
- Hormigón.

Conexión al transmisor

El sensor se conecta al transmisor por medio de un cable blindado de medición (incluido en el sensor) Si se requiere alargar el cable es necesario utilizar una caja de conexiones VBM o RM y cable de extensión CYK81.

Especificaciones del cable

Dos hilos, par trenzado con blindaje y envoltura de PVC (2 x 2 x 0,5 mm² + blindaje) .

Transmisor Liquiline CM442

Transmisor multiparámetro con un máximo de ocho canales de medición
Controlador multiparamétrico extensible para los procesos de supervisión y de control en la industria y el sector ambiental.

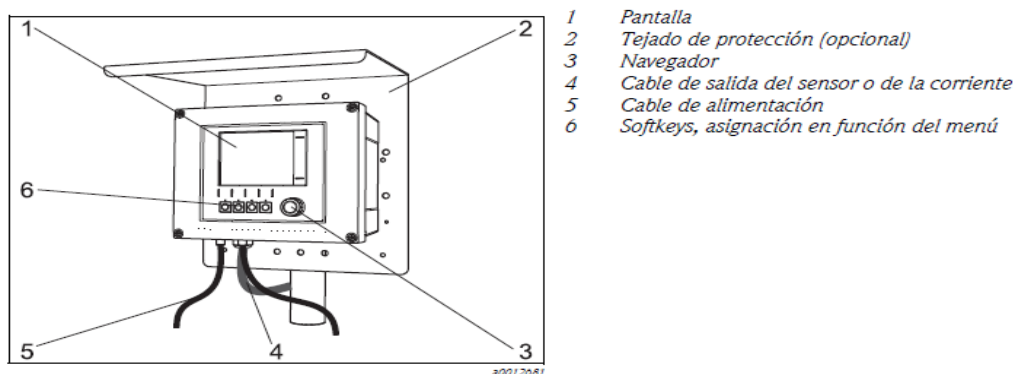


Fig. 1: Liquiline montado en el poste

Ilustración 46: Transmisor Liquiline montado en poste

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

Características

- Posibilidad de conectar hasta 8 sensores.
- Funciones matemáticas calculan nuevos valores de medición.
- Max . 8 salidas analógicas 0/4 a 20 mA.
- Buses de campo digitales (HART , PROFIBUS , Modbus , Ethernet / IP) y servidor web integrado.
- Entradas digitales opcionales / salidas o entradas de corriente para la transmisión de señal a otros dispositivos.

Montaje

Para realizar el montaje del transmisor utilizaremos la placa de montaje que adjunta. Puede instalarse en pared, poste o barandilla. Para estos dos últimos será necesario un juego especial de montaje para poste.

Si se requiere puede instalarse bajo un tejado de protección, que protegerá al transmisor de la intemperie.

Conexión eléctrica

Se debe utilizar un cable a dos hilos con blindaje en los dos extremos. Además de utilizar adecuadamente los bornes desenchufables que trae el transmisor..

CONDICIONES DE INSTALACIÓN

Instalación en tuberías

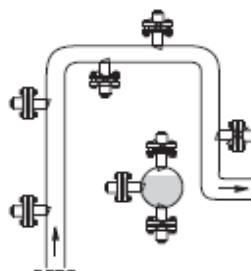


Figura 19: instalación en la tubería

Ilustración 47: Instalación en tubería

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

- El diámetro de la tubería no debe ser inferior a DN 100/4" si el material es reflectante (p. ej., acero inoxidable).

- El sensor debe estar instalado en lugares con condiciones de caudal uniformes y no en lugares donde puedan formarse acumulaciones de aire o burbujas o donde puedan depositarse partículas en suspensión.
- La mejor ubicación de instalación es una tubería de caudal ascendente. La instalación en una tubería horizontal también es posible; sin embargo, deberían evitarse las instalaciones en tuberías de caudal descendente.
- La superficie del sensor debe estar orientada contra el sentido de circulación del caudal de producto (“efecto de autolimpiado”).

Instalación en portasondas

- Si es posible, instalar el portasondas en vertical, de modo que el caudal circule hacia el sensor desde abajo.
- Por otra parte, el portasondas también puede instalarse en horizontal.
- Existen dos orientaciones posibles para una instalación en horizontal (figura 48):
 - En paralelo, en el sentido del caudal de producto
 - En sentido contrario al del caudal de producto
- La orientación en paralelo al caudal de producto es necesaria cuando se emplea la boquilla de spray CUR 3.
- La orientación en sentido contrario al caudal de producto se emplea para incrementar el efecto de autolimpiado en medios muy sucios (> 15 FNU). En estos casos, el efecto de las reflexiones en la pared es insignificante por la tendencia a una alta absorción del haz.

Los sensores CUS 31-xxE, CUS 31-xxS y CUS51D pueden utilizarse con turbideces < 5 FNU. No obstante, el CUS51D no es apto para agua potable.



Ilustración 48: Instalación en portasondas.

Orientación del sensor en paralelo

Orientación del sensor en sentido contrario al del caudal de producto

Fuente: <http://www.es.endress.com/>

CONFIGURACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las tareas de mantenimiento incluyen:

- Limpieza del portasondas y del sensor.
- Verificación del cable y las conexiones.
- Calibración.

Limpieza de los sensores de turbidez

La deposición en la óptica del sensor pueden provocar inexactitudes en las mediciones. Por este motivo, el sensor debe limpiarse con regularidad. Dichos intervalos de limpieza son específicos para cada instalación y deben ser determinados durante el funcionamiento de la aplicación.

Limpie la óptica del sensor con los productos siguientes según el tipo de suciedad:

- Deposición de lodos calizos:
Tratamiento corto con detergentes comerciales descalcificadores.
- Aceites y grasas:
Detergentes basados en sustancias tensioactivas solubles en agua (por ejemplo, lavavajillas domésticos).
- Otros tipos de suciedad:
Con agua y un cepillo.

Limpie el sensor con un cepillo suave. A continuación, enjuague completamente con agua.

Calibración y ajustes

- En el modo de funcionamiento con FNU, el sensor trabaja con la calibración de fábrica, realizada de modo traceable con formacina según ISO 7027.
- En el modo de medición en ppm, los registros de los datos de calibración para caolín y SiO₂ derivan de los registros de los datos para FNU.

- En el modo de medición en %, los registros de los datos de calibración están establecidos como promedios de diversos tipos de aguas residuales procedentes de cementeras. Éstos están preestablecidos de tal modo que los valores correctos se muestran para unos niveles de claridad normales. Sin embargo, los parámetros de configuración no siguen una norma de aplicación general.
- Además, en el modo de medición en g/l, el sensor no está calibrado para un valor fijo, ya que no es posible aplicar directamente ninguna norma general.

El usuario deberá llevar a cabo la calibración porque los productos de diferentes aplicaciones suelen diferir demasiado.

Todos los datos correspondientes a la calibración hecha en fábrica se encuentran en la memoria del sensor. De este modo:

- No es necesario volver a calibrar en caso de que se produzca un fallo de alimentación.
- No es necesario volver a calibrar al reemplazar el transmisor.
- En cambio, es necesario volver a calibrar para la aplicación específica de usuario al reemplazar el sensor.

En el sensor se guardan tres registros de datos de calibración para cada uno de los cuatro modos de medición principales.

¿Cuándo hay que calibrar?

La calibración a tres puntos es la calibración habitual. Este tipo de calibración es imprescindible:

- Al poner en marcha el sensor en aplicaciones con productos lodosos.
- Al cambiar de tipo de producto lodoso.

La calibración a tres puntos no es necesaria:

- Al poner en marcha el sensor en aplicaciones con agua potable (viene calibrado de fábrica para aplicaciones con agua potable).

- En aplicaciones con aguas residuales procedentes de cementeras. La medición de la densidad para determinar la concentración de aguas residuales procedentes de cementeras se basa en los registros de datos en %.

Éstos están preestablecidos de tal modo que los valores correctos se muestran para unos niveles de claridad normales. La calibración en un punto suele bastar para ajustar el sistema en el caso de desviación de los valores de medición.

- Al recalibrar con el mismo tipo de producto lodoso.

En estos casos, basta una calibración a un punto si los niveles de ligereza y claridad, por ejemplo, no difieren demasiado

Calibraciones a tres puntos (en campo)

Cada usuario debería llevar a cabo la calibración más conveniente para el rango de turbidez / concentración de sólidos en que tenga planeado efectuar sus mediciones. La característica de calibración general de la cadena de medición se determina mediante tres ejemplos conocidos de turbidez o contenido de sólidos en suspensión.

La curva de calibración para aplicaciones con productos muy oscuros y una alta capacidad de absorción de radiación refleja pendientes suaves, mientras que para materiales ligeros y transparentes, la curva de calibración presenta pendientes pronunciadas.

Cada usuario puede crear sondeos según sus requisitos diluyendo muestras del producto.

Ajustes de instalación

Con los ajustes de instalación se compensa la retrodispersión que se genera en el entorno inmediato del sensor. El ajuste de instalación tiene que realizarse con un producto que presenta una turbidez menor que 2 FNU o 5 ppm.

Comprobación del punto de medida

El sistema CUS51D + CM442 puede simularse mediante el Memocheck Sim CYP03D.

Los sensores CUS31 y CUS41 no pueden ser simulados mientras contienen el procesamiento de datos completo y todos los valores medidos se transmiten a la unidad CUM223/253 por el interfaz digital RS 485. Por lo tanto, se requiere un sensor operativo para la comprobación del punto de medida.

Método para la comprobación del punto de medida:

- Compruebe que el equipo está operativo y que el indicador reacciona adecuadamente, por ejemplo, al pulsar la tecla MÁS.
- Compruebe las salidas de corriente mediante la ejecución de una simulación de corriente (campo O3(2)).
- Mida la tensión de trabajo del sensor: aprox. 10 a 16V en los terminales 87 (+) y 88 (-).
- La causa de una tensión incorrecta puede hallarse tanto en el equipo como en el sensor.
 - Sustituya el sensor.
 - Si la tensión operativa del sensor continua siendo demasiado baja, sustituya el módulo de alimentación LSGA/LSGD (compruebe que sea el modelo adecuado).
- La tensión operativa en el sensor es correcta, pero no mide el valor de la turbidez, aun con un sensor nuevo.
 - Sustituya el módulo transmisor MKT1.

6.6 INSTRUMENTACIÓN PROPUESTA

Elemento: MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNÉTICO

Objetivo: Conocer los flujos que atraviesan los distintos procesos del tratamiento de agua.

Dónde:

- Entrada agua al tratamiento biológico .
- Recirculación fangos.
- Purga fangos.
- Bombeo de fangos espesados.

Mediante:

- Caudalímetro electromagnético.

Elemento: MEDIDOR DE NIVEL POR ULTRASONIDOS

Objetivo: Medición y monitorización de nivel en las distintas partes de nuestra E.D.A.R.U.

Dónde:

- Entrada de agua bruta.
- Salida de agua tratada.
- Tanque de espumas y grasas.
- Tratamiento biológico.
- Decantadores.
- Digestor.
- Canal de desbaste.
- Pozos de bombeo.
- Almacenamiento.

Mediante:

- Sonda de nivel de ultrasonidos.

Elemento: MEDIDOR DE PH y TEMPERATURA

Objetivo: Control del PH y Temperatura a lo largo de todo el proceso.

Dónde:

- Entrada agua bruta.
- Salida de agua tratada.

Mediante:

- Sonda potenciométrica.

Elemento: MEDIDOR DE OXÍGENO

Objetivo: Control de la concentración de O₂.

Dónde:

- Tratamiento biológico.
- Tratamiento físico-químico.
- Digestor.

Mediante:

- Sensor amperiométrico.

Elemento: MEDIDOR DE TURBIDEZ

Objetivo: Control de sólidos disueltos

Dónde:

- Tratamiento biológico.

Mediante:

- Sensor optoelectrónico de turbidez.

6.7. ELECCIÓN DEL AUTÓMATA

El autómata es el encargado de controlar todo el proceso de la E.D.A.R.U.

He elegido el PLC CP1H-XA40DR-A de OMRON.

La serie CP1H es la nueva gama de autómatas programables compactos de Omron; compactos y pequeños en tamaño pero no en características.

Incorporan una variedad de características en una unidad compacta que incluye control sincronizado de pulsos, entradas de interrupción, salidas de pulsos, selecciones analógicas y una función de reloj.

Dispone de funciones de comunicaciones con ordenadores personales. Estas capacidades de comunicación permiten diseñar sistemas de producción distribuidos de bajo coste.

Posee cuatro entradas y dos salidas analógicas. Hay tres tipos de salidas disponibles (salidas relé, salidas transistor NPN y salidas transistor PNP) y 2 tipos de fuentes de alimentación (100/240 Vca o 24 Vcc).

En definitiva el autómata CPM2A presenta unas características óptimas para su implantación como controlador lógico programable debido a que presenta una estructura compacta, resistente a factores externos y flexible en cuanto que su modularidad facilita la posible previsión de ampliación en un futuro.

Breve descripción del funcionamiento de un autómata

Los autómatas programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta (aplicación): al detectarse cambios en las señales, el autómata reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

La secuencia básica de operación del autómata se puede dividir en tres fases principales:

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- Procesado del programa para obtención de las señales de control.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas.

A fin de optimizar el tiempo, la lectura y escritura de las señales se realiza a la vez para todas las entradas y salidas. Entonces, las entradas leídas de los módulos de entrada se guardan en una memoria temporal (imagen entradas). A ésta acude la CPU en la ejecución del programa, y según se van obteniendo las salidas, se guardan en otra memoria temporal (imagen de salida). Una vez ejecutado el programa completo, se escriben las salidas en el orden correspondiente.

CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA CP1H

El CP1H nos permite la posibilidad de efectuar diferentes ampliaciones:

Hasta siete unidades de expansión se pueden conectar mediante los cables de conexión de expansión.

Hay varios modelos de expansión disponibles:

- Unidad expansora de E/S digitales.
- Unidad expansora de E/S analógicas.
- Unidad de I/O Link de CompoBus/S.
- Unidad de I/O Link DeviceNet.
- Unidad I/O Link PROFIBUS-DP-
- Sensores de Temperatura.
- Unidades de E/S especiales
- Unidades de bus de CPU de la serie CJ

La CPU que elegimos tiene 24 puntos de E de c.c, 16 salidas de relé, 4 entradas analógicas y 2 salidas analógicas.



Ilustración 49: Autómata CP1H

Fuente: <https://industrializares>

Especificaciones completas de la CPU

Elemento	CPUs XA: CP1H-XA□□□□	CPUs X: CP1H-X□□□□	CPUs Y: CP1H-Y□□□□
Método de control	Método de programa almacenado		
Método de control de E/S	Barrido de E/S y actualización inmediata		
Lenguaje de programación	Diagrama de relés		
Bloques de función	Número máximo de definiciones de bloques de función: 128. Número máximo de instancias: 256. Lenguajes que se pueden utilizar en definiciones de bloques de función: diagramas de relés, texto estructurado		
Longitud de instrucción	1 a 7 pasos por instrucción		
Instrucciones	Aprox. 400 (códigos de función: 3 dígitos)		
Tiempo de ejecución de instrucciones	Instrucciones básicas: 0,30 µs/mín. Instrucciones especiales: 0,15 µs/mín.		
Capacidad del programa	0,7 ms		
Número de tareas	20 Kpasos		
Número máximo de subrutinas	288 (32 tareas cíclicas y 256 tareas de interrupción). Tareas de interrupción programadas: 1 (tarea de interrupción nº 2, Tj2). Tareas de interrupción de entrada: 8 (tarea de interrupción nº 140 a 148, Tj40), 6 para CPUs Y. Tareas de interrupción de contador de alta velocidad: 256 (tarea de interrupción nº 0 a 255)		
Número máximo de saltos	256		
Número máximo de saltos	256		
Áreas de E/S	1.600 bits (100 canales): CIO 0.00 a CIO 99.15 (las 24 entradas incorporadas están asignadas en CIO 0.00 a CIO 0.11 y CIO 1.00 a CIO 1.11.)		
Bits de salida	1.600 bits (100 canales): CIO 100.00 a CIO 199.15 (las 16 salidas incorporadas están asignadas en CIO 100.00 a CIO 100.07 y CIO 101.00 a CIO 101.07.)		
Entradas analógicas incorporadas	C/O 200 a C/O 203		
Salidas analógicas incorporadas	C/O 210 a C/O 211		
Área de PLC Link serie	1.440 bits (90 canales): CIO 3100.00 a CIO 3189.15 (CIO 3100 a CIO 3189)		
Bits de trabajo	8.192 bits (512 canales): W000.00 a W511.15 (W0 a W511) 37.506 bits (2.344 canales): CIO 3800.00 a CIO 6143.15 (CIO 3800 a CIO 6143)		
Área TR	16 bits: TR0 a TR15		
Área de retención	8.192 bits (512 canales): H0.00 a H511.15 (H0 a H511)		
Área AR	5120 lectura (prohibida la escritura): 7368 bits (448 canales): A0.00 a A447.15 (A0 a A447) Lectura/escritura: 8192 bits (512 canales): A448.00 a A959.15 (A448 a A959)		
Temporizadores	4.096 bits: T0 a T4.095		
Contadores	4.096 bits: C0 a C4.095		
Área DM (ver nota)	32 Kcanales: D0 a D 32767		
Área de registro de datos	16 registros (16 bits): DR0 a DR5		
Área de registros de índice	6 registros (16 bits): IR0 a IR15		
Área de indicador de tarea	32 indicadores (32 bits): TR0000 a TR0031		
Memoria de seguimiento	4.000 canales (500 muestras para datos de seguimiento, máximo de 31 bits y 6 canales)		
Casete de memoria	Se puede montar un casete de memoria especial (CP1W-ME05M). Nota: Se puede utilizar para copias de seguridad de programas y reinicio automático.		
Función de reloj	Compatible. Precisión (desviación mensual): -3,5 mín. a +0,5 mín. (temperatura ambiente: 55°C), -1,5 mín. a +1,5 mín. (temperatura ambiente: 25°C), -3 mín. a +1 mín. (temperatura ambiente: 0°C)		
Funciones de comunicaciones	Un puerto de periféricos incorporado (USB 1.1): sólo para conexión de software de programación. Se puede montar un máximo de dos tarjetas opcionales de comunicaciones serie.		
Copia de seguridad de memoria	Memoria flash: los programas de usuario, parámetros (como la configuración del PLC), datos de comentarios y toda el área DM se pueden guardar en la memoria flash como valores iniciales. Batería de reserva: El área DM de lectura/escritura, el área DM y los valores de contador (indicadores, IV) se mantienen gracias a una batería de reserva.		
Vida útil de la batería	5 años a 25°C. (Utilice baterías de repuesto fabricadas hace menos de 2 años.)		
Términos de entrada incorporados	40 (24 entradas, 16 salidas)		
Número de unidades expansoras de E/S conectables	Unidades expansoras de E/S CPM1A: 7 máx.; unidades de E/S especiales o unidades de bus de CPU de la serie Cj: 2 máx.		
Número máximo de puntos de E/S	320 (40 incorporada + 40 por unidad expansora (E/S) x 7 unidades)		
Entradas de interrupción	8 entradas (compartidas por las entradas de interrupción externa [modo contador] y las entradas de respuesta rápida.)		
Modo de contador de entradas de interrupción	8 entradas (frecuencia de respuesta: 5 kHz máx. para todas las entradas de interrupción), 16 bits		
Entradas de respuesta rápida/interrupción	8 puntos (ancho de impulso de entrada mín.: 50 µs máx.)		
Interrupciones programadas	1		

Tabla 4: Especificaciones completas de la CPU utilizada

Fuente: <https://industrial.omron.es>

COMPONENTES DEL SISTEMA CP1H

Unidad de entrada analógica

La unidad de entrada analógica utilizada es la CPM1A-AD041.

Posee 4 entradas analógicas

Se puede conectar un máximo de siete unidades expansoras de E/S CP1MA, lo que es suficiente para realizar la supervisión de nuestros instrumentos

Especificaciones



Ilustración 50: Unidad de entrada analógica CPM1A

Fuente: <https://industrial.omron.es>

Elemento	E/S de tensión	E/S de corriente
Sección de entrada analógica		
Número de entradas analógicas	4	
Rango de señal de entrada	0 a 5 V, 1 a 5 V, 0 a 10 V ó 0 a 10 V	0 a 20 mA ó 4 a 20 mA
Entrada nominal máx.	±15 V	±30 mA
Impedancia de entrada externa	1 MΩ mín.	Aprox. 250
Resolución	1/6.000 ó 1/12.000 (escala total)	
Precisión total	25°C: ±0,3% es. cala. total/0 a 55°C: ±0,6% es. cala. total	25°C: ±0,4% es. cala. total/0 a 55°C: ±0,8% es. cala. total
Datos de conversión A/D	Escala total para -10 a 10 V: F448 (E890) a 0B B8 (1770) hexadecimal Escala total para otros rangos: 0000 a 1770 (2EE0) hexadecimal	
Cálculo de media	Compatible (se selecciona para entradas individuales en la configuración del PLC)	
Detección de circuito abierto	Compatible (valor durante desconexión: 8000 hexadecimal)	
Sección de salida analógica		
Número de salidas	2 salidas	
Rango de señal de salida	0 a 5 V, 1 a 5 V, 0 a 10 V ó 0 a 10 V	0 a 20 mA ó 4 a 20 mA
Resistencia de carga en salida externa admisible	1 kΩ mín.	600 Ω máx.
Impedancia de salida externa	0,5 máx.	-
Resolución	1/6.000 ó 1/12.000 (escala total)	
Precisión total	25°C: ±0,4% es. cala. total/0 a 55°C: ±0,8% es. cala. total	
Datos de conversión D/A	Escala total para -10 a 10 V: F448 (E890) a 0B B8 (1770) hexadecimal Escala total para otros rangos: 0000 a 1770 (2EE0) hexadecimal	
Tiempo de conversión	1 ms/punto	
Método de aislamiento	Aislamiento de fotoacoplador entre los terminales de E/S analógicas y los circuitos internos. Sin aislamiento entre señales de E/S analógicas.	

Tabla 5: Especificaciones completas de la unidad de entradas analógicas

Fuente: <https://industrial.omron.es>

Unidad de comunicación

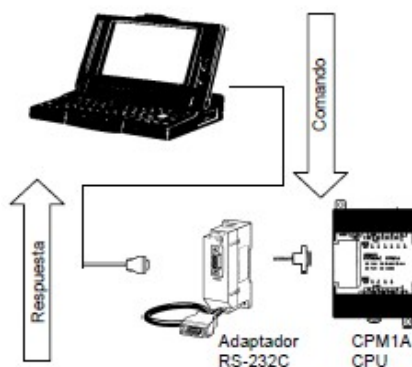


Ilustración 51: Comunicaciones Host Link 1:1

Fuente: <https://industrial.omron.es>

Un ordenador puede conectarse al puerto RS-232C de la CPU con un cable de conexión. En el caso de necesitar otro tipo de comunicación podríamos obtenerla instalando un módulo específico de comunicaciones a la CPU.

Conexionado

La conexión del modulo CPM1A-AD041 con el PLC se realiza a través del bus de expansión del PLC. El módulo CPM1A-AD041 lleva incorporado un conector con cable plano que se conectará directamente al mencionado Bus.

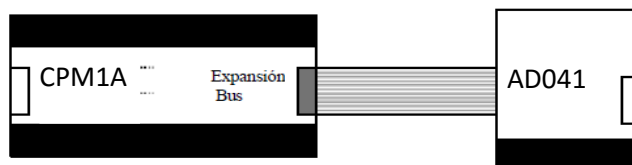


Ilustración 52: Conexionado del módulo de entradas al PLC

Fuente: <https://industrial.omron.es>

Instalación del CP1H

El CP1H se puede instalar en una superficie horizontal o en carril DIN.

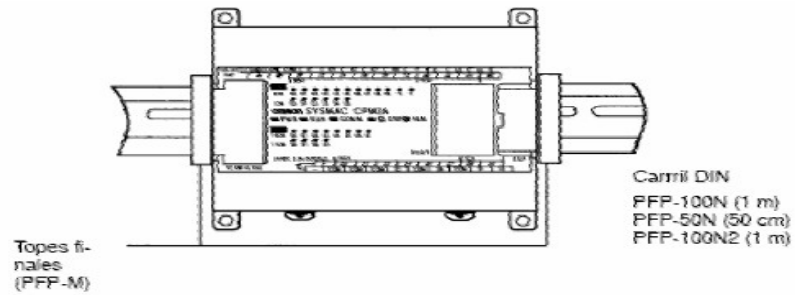
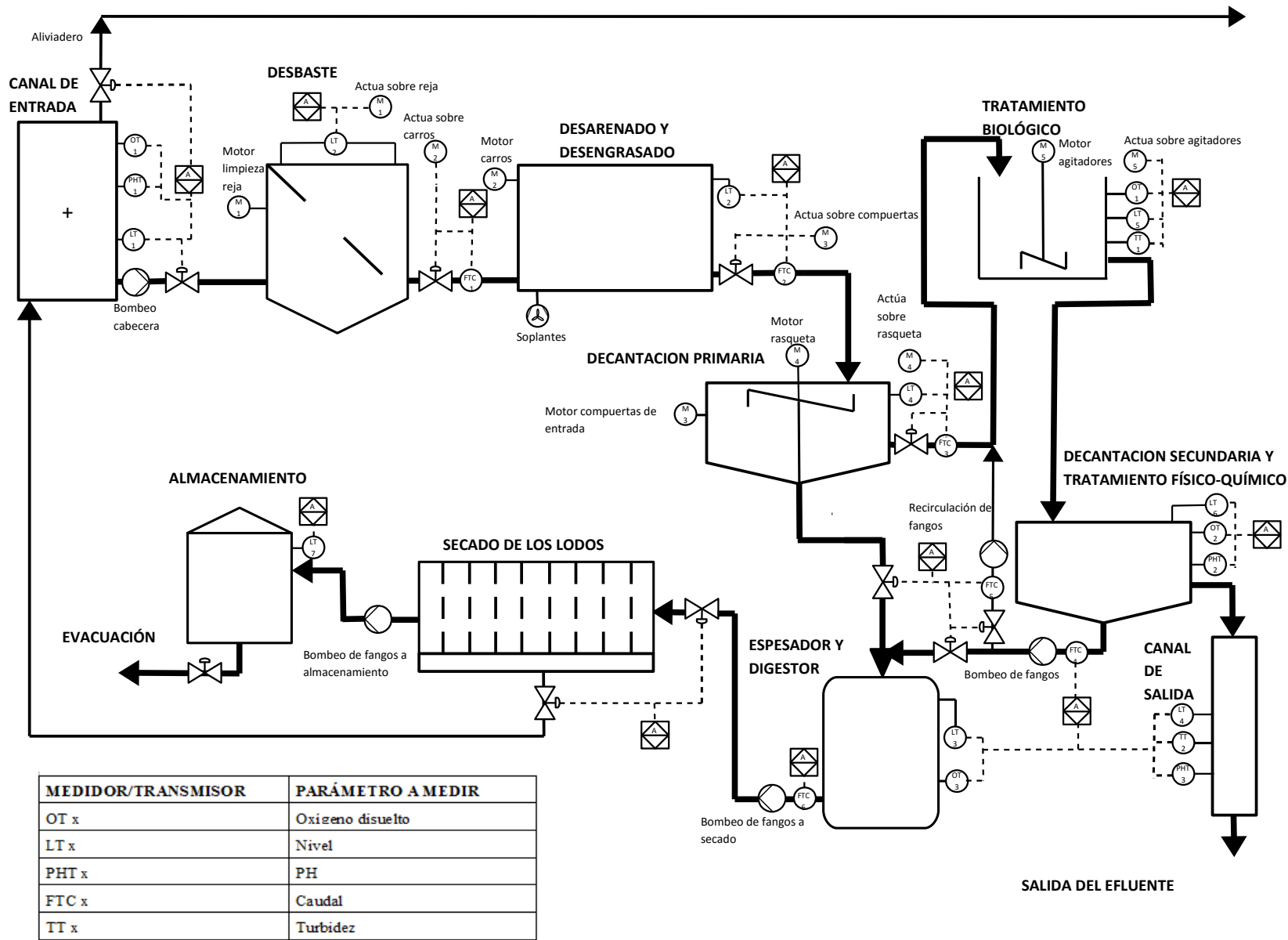


Ilustración 53: Instalación de la CPU en carril DIN

Fuente: <https://industrial.omron.es>

6.8 DIAGRAMA DE BLOQUES



6.9 AUTOMATIZACIÓN POR LÍNEA DE PROCESO

Bombeo de agua bruta

El sistema de control actuará sobre los grupos de bombeo de agua bruta teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Capacidades de la planta.
- Control del caudal impulsado y número de bombas en funcionamiento en función de la medida de nivel en el pozo.
- Rotación del funcionamiento de las bombas.
- Posibilidad de acumulación en la zona de bombeo.
- Consumo de energía.
- Reducción del número de maniobras de la maquinaria.

Así mismo los equipos de control regularán el caudal impulsado a tratamiento, actuando sobre el variador de frecuencia con que está equipado uno de los grupos de elevación, en función de la medida de nivel en el pozo de bombeo.

Entrada de agua

Las misiones que se encomiendan a esta parte del proceso se pueden resumir esquemáticamente en:

- Control del agua de entrada: realizando una primera medición de nivel, mediante el cierre o apertura de las compuertas adaptamos el caudal de entrada a la capacidad de tratamiento de la planta según el número de líneas que haya en servicio.
- Se realiza también mediciones de Óxígeno, PH y Temperatura del agua a tratar, para tener unos valores de referencia y actuar así en función de los mismos.

Desbaste

- Realizamos mediciones de nivel antes y después de la reja, para conocer el grado de colmatación y poner en funcionamiento el motor de limpieza de la reja. También considerando una temporización variable según el caudal, fijando un tiempo máximo de paro para evitar posibles adherencias.

Desarenador-Desengrasador

- Control de desarenadores y desengrasadores, regulando el movimiento de los carros de limpieza en función del caudal de entrada.
- Asimismo variará la cantidad de aire introducido mediante los soplantes. La velocidad de los soplantes vendrá determinada por la lectura que nos dará el sensor de oxígeno. Esta velocidad será inversamente proporcional a la concentración de oxígeno.

Decantación primaria

Se regulará el proceso de esta etapa mediante:

- Control del caudal de entrada a esta parte de la instalación, determinando el número de líneas que deben entrar en servicio y realizando la apertura o cierre de las compuertas de entrada a cada línea.
- Enclavamiento, control y temporización de todos los elementos relacionados con los procesos anteriores.
- Control de decantadores, bombas de fangos y flotantes, comprobando el funcionamiento correcto en las líneas y generando alarmas si se detectara alguna anomalía.
- Extracción de fangos en función de algoritmos de control predefinidos de forma temporizada.
- Extracción de espumas por nivel en la arqueta, mediante rasquetas giratorias en superficie.
- Rotación de los equipos de bombeo de fangos en exceso.

Tratamiento Biológico

En esta parte de la planta el autómatas será el encargado de:

- Regular el caudal enviado al tratamiento biológico y control de las válvulas de entrada a los distintas balsas para realizar una distribución homogénea e impedir una entrada de caudal superior al que esta parte de la planta sea capaz de admitir.
- Controlar el nivel de oxígeno en las cubas de aireación. Para el control y la regulación de oxígeno, el autómatas actuará sobre los variadores de frecuencia, en función de la medida de oxígeno disuelto en las cubas, ajustando la producción de aire necesaria en cada momento para un rendimiento óptimo del sistema.
- Regulación del caudal de fangos biológicos en exceso: actuando sobre los variadores de frecuencia de los grupos de bombeo.
- Además es necesario realizar mediciones de turbidez en este parte.

Decantación secundaria

- Regulación del caudal de recirculación externa de fangos actuando sobre los variadores de frecuencia de los grupos de bombeo, en función de la carga en las balsas y previsión de demanda.
- Regulación del caudal de fangos biológicos en exceso: actuando sobre los variadores de frecuencia de los grupos de bombeo.

Tratamiento Físico-Químico

- Necesitamos conocer los valores de PH, oxígeno y para realizar el tratamiento adecuado.

Digestor

- Comprobar la temperatura y el oxígeno en esta parte, además del nivel de fangos, bombeándolos al secado.

Secado

- Medición del caudal de entrada de lodos, para ajustar nuestros parámetros de secado y de almacenamiento de los mismos.

Salida

- Se realizan mediciones de nivel, turbidez y PH de nuestra planta, para conocer el estado del efluente de salida.

Centro de control

Desde esta zona se decide si la planta se encuentra en modo manual o automático.

Además se recibe información de todos los procesos de la planta. El estado de los procesos se indica mediante pilotos, que estarán agrupados según la situación en la planta de los procesos a los que hacen referencia, de forma que su lectura sea lo más intuitiva posible.

El autómata programable leerá todos los datos necesarios, con una periodicidad de dos segundos. Conectada al autómata habrá una estación de trabajo que, recibirá los datos y realizará dos tipos de trabajo:

- Mostrará la lectura instantánea de los datos recibidos del autómata.
- Almacenará dichos datos en una base de datos para obtener una historia del funcionamiento de la estación.

Todos estos parámetros podrán ser modificados por el operador los cuales serán ajustados en la puesta en marcha, permaneciendo como seguridad ante la posible manipulación incorrecta.

El sistema se encuentra preparado para ampliar su capacidad de programación según vayan creciendo las necesidades de la planta. Asimismo, se podría implementar una programación específica en función de la hora, día de la semana, época del año, etc.

7. REFERENCIAS

7.1 REFERENCIA DE IMÁGENES

Nº de Imagen	Referencia	Página
1	Ilustración 1: Mapa de localización de Archena	15
2	Ilustración 2: Vista aérea de la parcela	16
3	Ilustración 3: Esquema de tratamiento	32
4	Ilustración 4: Pozo de Gruesos	34
5	Ilustración 5: Rejas de desbaste	35
6	Ilustración 6: Tamiz rotativo	37
7	Ilustración 7: Desarenador-Desengrasador	38
8	Ilustración 8: Decantador primario circular mecanizado	39
9	Ilustración 9: Decantador secundario circular	41
10	Ilustración 10: Tratamiento biológico	41
11	Ilustración 11: Digestor	45
12	Ilustración 12: Zonas no recomendadas de Instalación	47
13	Ilustración 13: Instalación en un sifón	48
14	Ilustración 14: Punto de montaje ideal para un caudalímetro	48
15	Ilustración 15: Caudalímetro electromagnético	49
16	Ilustración 16: Conexión eléctrica del transmisor	51
17	Ilustración 17: Longitudes recomendadas para los tramos rectos	52

18	Ilustración 18: Ejemplo de una medición de nivel por ultrasonidos	56
19	Ilustración 19: Ejemplo: Canales Khafagi- Venturi	58
20	Ilustración 20: Medición de nivel con detección de nivel límite y salida de alarma	58
21	Ilustración 21: Control alternativo de bombas (hasta 6 bombas)	59
22	Ilustración 22: Control de rejillas (medición de diferencias)	60
23	Ilustración 23: Bornes de Conexión Prosonic S	62
24	Ilustración 24: Esquema conexionado FDU9x	65
25	Ilustración 25: Marca sobre la rosca o brida	66
26	Ilustración 26: Alineación del equipo instalado conforme al campo eléctrico	66
27	Ilustración 27: Instalación en un depósito	67
28	Ilustración 28: Principio de medida amperométrico	69
29	Ilustración 29: Principio Óptico	70
30	Ilustración 30: Dispositivo de medición completo para COS31 con Liquisys M COM 223	71
31	Ilustración 31: Soporte de grupo universal CYH 101-A con grupo sumergible de péndulo CYA 611	72
32	Ilustración 32: Montura para el borde del depósito en horizontal con tubo de inmersión	73
33	Ilustración 33: Conexiones eléctricas del transmisor en las versiones DX o DS	75
34	Ilustración 34: Diseño del sensor COS 31	76
35	Ilustración 35: Cabezal Conector SXP	76
36	Ilustración 36: Sistema de medición para medir el PH	80

37	Ilustración 37: Por orden, montaje en pared, en tubería o en panel	82
38	Ilustración 38: Vista del interior del equipo y diagrama de conexiones	83
39	Ilustración 39: Sensor Orbisint	84
40	Ilustración 40: Diseño del sensor Orbisint CPS11	85
41	Ilustración 41: Vista del interior del equipo y diagrama de conexionado	86
42	Ilustración 42: Conexión simétrica	87
43	Ilustración 43: Conexión asimétrica	87
44	Ilustración 44: Sistema de medición con Turbimax y Liquiline	93
45	Ilustración 45: Sensor Turbimax CUS41	93
46	Ilustración 46: Transmisor Liquiline montado en poste	94
47	Ilustración 47: Instalación en tubería	95
48	Ilustración 48: Instalación en portasondas.	96
49	Ilustración 49: Autómata CP1H	104
50	Ilustración 50: Unidad de entrada analógica CPM1A	106
51	Ilustración 51: Comunicaciones Host Link 1:1	107
52	Ilustración 52: Conexionado del módulo de entradas al PLC	107
53	Ilustración 53: Instalación de la CPU en carril DIN	108

7.2 REFERENCIA DE TABLAS

Nº de Tabla	Referencia	Página
1	Tabla 1: Datos de partida	7
2	Tabla 2: Secciones del conductor	61
3	Tabla 3: Bornes de conexión Prosonic FMU	63
4	Tabla 4: Especificaciones completas de la CPU utilizada	105
5	Tabla 5: Especificaciones completas de la unidad de entradas analógicas	106

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Isla de Juana, Ricardo. "Proyectos de plantas de tratamiento de aguas" (Bellisco Ediciones, 2005)
2. Garrido, A., Segovia, J., Sánchez, M., López, J.F., Gadea, A., Egea, R. "Manual de especificaciones técnicas para proyectos de construcción, ampliación o reformas de estaciones depuradoras de aguas residuales "(Diego Marín, 2006)
3. Aznar Jimenez Antonio. "Apuntes de Sensores e Instrumentación"
4. Endress Hauser "La Guía de Mantenimiento " 2012
5. <http://www.consorticioaa.com/>
6. <http://www.epsar.gva.es/>
7. <https://industrial.omron.es/es/home>
8. <http://www.es.endress.com/es>